

LE
MÉTROPOLITAIN DE PARIS

PAR

LOUIS BIETTE

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
ADJOINT A L'INGÉNIEUR EN CHEF CHEF DU SERVICE TECHNIQUE DU MÉTROPOLITAIN

Extrait de la REVUE DE PARIS
des 15 Avril, 1er et 15 Mai 1906



PARIS
IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE CENTRALES DES CHEMINS DE FER
IMPRIMERIE CHAIX
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE TROIS MILLIONS
Rue Bergère, 20
1906

LE

MÉTROPOLITAIN DE PARIS

PAR

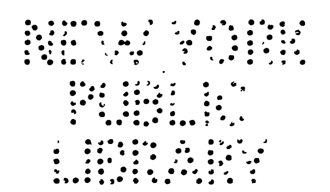
LOUIS BIETTE

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
ADJOINT A L'INGÉNIEUR EN CHEF DU SERVICE TECHNIQUE DU MÉTROPOLITAIN

Extrait de la REVUE DE PARIS
des 15 Avril, 1er et 15 Mai 1906



PARIS
IMPRIMERIE ET LIBRAIRIE CENTRALES DES CHEMINS DE FER
IMPRIMERIE CHAIX
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE TROIS MILLIONS
Rue Bergère, 20
1906



LE MÉTROPOLITAIN DE PARIS

Il est peu d'œuvres dont la mise au point ait été plus laborieuse que celle du chemin de fer métropolitain de Paris : c'est en 1855 que l'idée prit corps pour la première fois, et ce n'est qu'en 1898 que le réseau reçut sa charte définitive. Cette longue période d'attente s'explique si l'on songe à la complexité du problème, à la variété et aussi à la divergence des intérêts, aux multiples difficultés d'ordre technique. Les auteurs du projet de 1855, MM. Brame et Flachat, voulaient simplement relier le centre de Paris à la périphérie et assurer l'approvisionnement des Halles par voie ferrée. Ce n'était là qu'une solution fragmentaire du problème des transports en commun. Seize ans devaient s'écouler avant qu'une conception rationnelle se précisât : en 1872, une Commission technique nommée par le préfet de la Seine (en exécution d'une délibération du Conseil général du 10 novembre 1871), formula les données essentielles d'un véritable réseau à l'intérieur de Paris. Cette Commission s'était visiblement inspirée de l'exemple de Londres ; à l'imitation des Anglais, le nom de « Métropolitain » fut attribué au réseau parisien.

Les travaux de la Commission de 1871 restèrent sans suite : les circonstances étaient défavorables ; mais cet échec ne rebuta pas le Conseil général, qui décidait trois ans plus tard, le 22 novembre 1875, de continuer les études des chemins

de fer d'intérêt local de la Seine, dans lesquels se trouvait englobé le réseau urbain, et, de 1875 à 1877, les ingénieurs de la Ville travaillèrent à déterminer les données fondamentales de ce réseau. Les conclusions auxquelles ils aboutirent furent assez précises pour qu'on les ait toujours prises comme base dans la suite. Comme le projet de 1872, celui de 1877 demeura sans sanction. La loi du 11 juin 1880, qui réserve aux communes la faculté d'établir un chemin de fer d'intérêt local sur leur territoire, laissa croire un instant que la situation allait changer; le Métropolitain passait du Conseil général de la Seine au Conseil municipal de Paris, qui arrêtait le 4 juin 1883 le projet d'un chemin de fer urbain d'intérêt local et demandait le vote d'une loi déclarant l'utilité publique de ce chemin de fer et en autorisant la construction. Mais le Conseil d'État affirma le caractère d'intérêt général du Métropolitain et déclara que ce réseau ne pouvait pas être concédé à la Ville; le gouvernement ne crut pas devoir donner suite au projet.

Au cours des années qui suivirent, une série d'études émanant de l'initiative privée, et dont quelques-unes acquirent une certaine notoriété, furent portées à la connaissance du public par la presse ou par les conférences des auteurs. De son côté, le gouvernement se préoccupait d'un chemin de fer d'intérêt général, et un projet portant concession à M. Christophle, gouverneur du Crédit Foncier, arriva, mais échoua à la tribune du Parlement (21 juillet 1887). Pendant dix-huit ans (1877-1895), les efforts de l'action officielle ou de l'initiative privée demeurèrent stériles : une contradiction absolue divisait le gouvernement et la Ville sur le caractère légal à attribuer à ce réseau.

Pour le gouvernement, le Métropolitain devait, en même temps qu'il desservait la circulation urbaine, être rattaché aux lignes des grandes Compagnies; on condamnait d'avance toute « entreprise exclusivement locale, qui n'aurait pour objet que de relier deux points dans l'intérieur de Paris sans la traversée des fortifications et sans raccordement direct avec une grande ligne » (Lettre ministérielle du 16 juillet 1878). La Ville, sans méconnaître l'intérêt de raccorder les grandes lignes à l'intérieur de la capitale, soutenait que ces raccordements devaient rester isolés du Métropolitain, et que le seul but de

celui-ci était de satisfaire aux besoins de la circulation parisienne, en gardant le caractère purement municipal. « La question du Métropolitain, — écrivait le 5 juillet 1889, M. Sauton, rapporteur de la Commission du Conseil municipal, — se traînera d'échec en échec, d'avortement en avortement, tant qu'on persistera à vouloir grouper dans un même ensemble l'intérêt urbain, celui de l'État et ceux du syndicat des grandes Compagnies... Le prolongement dans Paris d'une ligne d'intérêt général est lui-même d'intérêt général... Les lignes dans Paris, qui ne sont pas des prolongements de lignes d'intérêt général et ne relient pas celles-ci rail à rail, sont d'intérêt local. »

Cette querelle de mots peut sembler quelque peu byzantine. Pourtant savoir si le Métropolitain devait être d'intérêt général ou d'intérêt local méritait la discussion, car les conséquences étaient toutes différentes suivant le caractère attribué au nouveau chemin de fer.

Le Métropolitain étant reconnu d'intérêt général, le soin d'en arrêter le tracé et d'en assurer la construction rentrait dans les attributions du gouvernement, et la Ville n'avait plus que voix consultative ; presque fatalement, le Métropolitain tombait aux mains des grandes Compagnies, comme le Chemin de fer de Ceinture, et devenait un appendice des grands réseaux. Reconnu d'intérêt local, le Métropolitain conservait son autonomie, et la municipalité parisienne avait tout pouvoir pour en régler le mode d'exécution.

L'approche de l'Exposition universelle de 1900, la nécessité de faire face aux besoins d'une circulation intense, et le souvenir de l'insuffisance des moyens de transport lors de la précédente Exposition mirent fin au conflit. Une dépêche du ministre des Travaux publics, en date du 22 novembre 1895, proclama le retour au droit commun de la loi du 11 juin 1880 : la Ville aurait le droit d'assurer l'exécution, à titre d'intérêt local, des lignes qui sont spécialement destinées à desservir les intérêts urbains. Dès le début de 1896, la Commission du Conseil municipal traçait le programme du réseau métropolitain municipal, en lui assignant le double but de suppléer à l'insuffisance des transports en commun dans le Paris actuel et de permettre

la mise en valeur des quartiers éloignés et moins peuplés. Le 20 avril 1896, le Conseil municipal votait, sur le rapport de M. Berthelot, la mise à l'enquête de l'avant-projet; le 30 décembre suivant, il décidait la préparation d'un projet de construction par les soins des ingénieurs de la Ville. Enfin, après une instruction de deux ans, la loi du 30 mars 1898 déclarait d'utilité publique l'établissement d'un Métropolitain à traction électrique, destiné au transport des voyageurs seulement et comprenant les six lignes suivantes :

1° Ligne de la Porte de Vincennes à la Porte Dauphine ;
2° Ligne Circulaire par les anciens boulevards extérieurs ;
3° Ligne de la Porte Maillot à Ménilmontant ;
4° Ligne de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans ;
5° Ligne du Boulevard de Strasbourg au Pont d'Austerlitz ;
6° Ligne du Cours de Vincennes à la Place d'Italie.

En outre, la convention annexée à la loi prévoyait la concession éventuelle de deux autres lignes :

7° Du Palais-Royal à la Place du Danube ;
8° D'Auteuil à l'Opéra, par Grenelle.

Cette concession éventuelle a été rendue définitive par deux lois postérieures, en dates des 22 avril 1902 et 6 avril 1903.



L'avant-projet du Métropolitain comportait une voie étroite (un mètre de largeur entre les bords intérieurs des rails). On avait voulu non seulement réduire la section des ouvrages, mais encore couper court à toute velléité de raccordement avec les grandes lignes : on retrouve ici les préoccupations, d'ailleurs légitimes, de la municipalité parisienne, qui voulait assurer à tout prix l'autonomie et l'indépendance du nouveau réseau. Sur la demande du futur concessionnaire, le Conseil municipal accepta que la largeur de la voie fût portée à 1 m. 30 et celle des voitures à 2 m. 10 ; avec ces données, le raccordement rail à rail avec les grands réseaux était encore impossible. Mais le Parlement n'adopta pas cette solution encore trop radicale : la loi du 30 mars 1898 pres-

crivit, pour la voie, la largeur normale (1 m. 44 entre les bords intérieurs des rails) et, pour le gabarit du matériel roulant la largeur de 2 m. 40; les dimensions des ouvrages d'art étaient calculées en conséquence et de façon qu'il restât entre les parois intérieures et les parties les plus saillantes des voitures un intervalle d'au moins 70 centimètres. Cet écartement des rails permet au matériel du Métropolitain de circuler sur les voies des grandes Compagnies; mais les dimensions des ouvrages ne permettent pas pratiquement la réciprocité, de telle sorte que la loi sauvegarde entièrement l'autonomie du réseau urbain. Le Parlement a, d'ailleurs, réservé aux grandes Compagnies la possibilité de se raccorder directement à l'intérieur de la capitale par des voies indépendantes du Métropolitain : la construction du Métropolitain devra laisser réalisables, au point de vue technique, cette pénétration des grandes lignes et leurs raccordements dans Paris.

Le Métropolitain est donc établi pour deux voies de largeur normale (1 m. 44 entre les bords intérieurs des rails) et pour des voitures dont la largeur maxima, toutes saillies comprises, atteint 2 m. 40; un intervalle de 0 m. 50 est normalement réservé entre deux voitures qui se croisent; entre les piédroits ou parapets des ouvrages et les parties les plus saillantes du matériel roulant, l'espace libre est de 0 m. 70, au moins, sur 2 mètres de hauteur au-dessus du niveau du rail.

La concession a été accordée pour une durée de trente-cinq années à la Compagnie générale de Traction, qui s'est substitué (conformément aux clauses de la convention passée entre elle et la Ville) une Société anonyme ayant pour objet exclusif l'exploitation du Métropolitain : sous le nom de *Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris*, cette Société a été constituée en vertu d'un décret du 19 avril 1899. La convention de concession stipule que la Ville exécutera elle-même les travaux de l'infrastructure, c'est-à-dire les travaux souterrains, tranchées, viaducs, nécessaires à l'établissement de la plateforme ou au rétablissement des voies publiques empruntées et, en outre, à titre exceptionnel, les quais de voyageurs dans les stations, à l'exclusion des ouvrages y donnant accès.

Toutes les autres dépenses sont à la charge du concessionnaire, notamment l'installation des voies et des transmissions électriques, l'aménagement des accès aux stations, la construction des ateliers et usines, la fourniture du matériel, etc. En un mot, la Ville construit à ses frais les ouvrages souterrains ou aériens qui doivent contenir ou supporter les voies ; la Compagnie du Métropolitain pose ces voies, les équipe, assure l'accès aux stations, fournit le matériel et les usines électriques, et exploite.

Cette combinaison paraît compliquée à première vue. Deux combinaisons plus simples permettaient à la Ville soit de construire entièrement et d'exploiter le Métropolitain par ses propres moyens, soit de confier entièrement ce double soin à la Compagnie concessionnaire.

Il est permis de penser que la première solution, qui équivaut à cette « régie municipale » dont il a été tant question dans ces derniers temps au sujet du gaz, aurait eu, en 1898, moins de chances encore que de nos jours d'être accueillie avec faveur. La seconde solution n'aurait pas soulevé les mêmes objections : elle a été adoptée récemment pour la ligne Montmartre (Place des Abbesses)-Montparnasse, qui fut concédée par la Ville à MM. Berlier et Janicot et rétrocédée par eux à la *Société du Chemin de fer électrique Nord-Sud de Paris*. Mais, acceptable à la rigueur pour une ligne isolée, cette solution ne saurait convenir à la réalisation d'une vaste entreprise, comme celle du réseau métropolitain.

En fait, la combinaison adoptée présente des avantages indéniables qui sont les suivants : possibilité de réduire dans une proportion notable la durée de la concession ; allègement sensible des charges de l'entreprise par suite de la faculté que possède la Ville de se procurer des capitaux à un taux inférieur à celui qu'aurait à payer toute Société privée ; plus grande facilité pour la Ville de se procurer l'énorme capital nécessaire à la réalisation de l'œuvre, sans passer par une garantie d'intérêt et sans risquer sa responsabilité financière. L'expérience qui va être tentée pour l'exécution de la ligne nouvelle Montmartre-Montparnasse permettra d'ailleurs d'utiles comparaisons entre les deux modes de concession.

Les tarifs sur le Métropolitain sont de 0 fr. 25 c. en première classe et de 0 fr. 15 c. en deuxième classe pour un parcours quelconque, et les voyageurs admis jusqu'à neuf heures du matin ont droit, au prix de 0 fr. 20 c., à un billet d'aller et retour qui leur permet de reprendre gratuitement un des trains de la journée. Sur le produit de ces tarifs, une part revient à la Ville, et cette part est calculée à raison de 0 fr. 05 c. par billet de seconde classe ou d'aller et retour, et de 0 fr. 10 c. par billet de première classe. Ces prélèvements s'accroîtront lorsque le nombre annuel des voyageurs dépassera 140 millions : l'accroissement sera de 0 fr. 001 par voyageur pour chaque dizaine de millions de voyageurs entre 140 et 190 millions ; à partir de 190 millions, le prélèvement supplémentaire demeurera fixe et égal à 0 fr. 005 pour tous les voyageurs excédants. L'éventualité de ces prélèvements supplémentaires vient de se réaliser pour la première fois dans le dernier trimestre de 1905.

La convention de concession règle les conditions du travail des ouvriers et employés de la Compagnie. Deux de ces conditions ont été officiellement supprimées par la loi du 30 mars 1898 ; mais la Compagnie a pris, vis-à-vis du Conseil municipal, l'engagement de les respecter : l'une prescrit la paie à la quinzaine et fixe le minimum des salaires ; l'autre règle la durée maximum de la journée de travail et impose l'obligation d'un jour de repos hebdomadaire. Les autres conditions du travail maintenues par la loi sont les suivantes : garantie au personnel, sans retenue de salaire, d'un congé annuel de dix jours ; salaire intégral pendant les périodes d'instruction militaire ; salaire intégral durant les maladies, pendant au moins une année ; salaire entier jusqu'à complète guérison en cas d'accident survenu pendant le travail ; assurance contre les accidents, aux frais exclusifs de la Compagnie ; mesures de sécurité et d'hygiène reconnues nécessaires par l'Administration ; commission à tout employé ou ouvrier majeur, des deux sexes, ayant accompli vingt-quatre mois de services.

La convention impose en outre à la Compagnie l'obligation de fournir à tout son personnel ouvrier des livrets à la Caisse nationale des retraites. Les versements sont constitués au moyen de 2 p. 100 retenus sur le salaire des ouvriers et de

6 p. 100 versés à leur nom par la Compagnie, tant que le nombre des voyageurs reste inférieur à 220 millions; au delà de ce chiffre, le taux des retenues sur les salaires est ramené à 1 p. 100 et celui des versements de la Compagnie est porté à 7 p. 100. Enfin la Compagnie est tenue de constituer un service médical et pharmaceutique gratuit. Les salaires payés en cas de maladie ou d'accident, les indemnités en cas d'infirmité définitive, totale ou partielle, les assurances contre les accidents, les dépenses du service médical et pharmaceutique sont payés par une caisse spéciale, que gèrent eux-mêmes les employés et ouvriers.

Ces dispositions humanitaires paraissent toutes naturelles aujourd'hui; on ne les accueillit cependant, en 1898, qu'avec certaine réserve, et leur adoption ne fut pas sans provoquer quelque émotion.

***

L'ensemble des huit lignes métropolitaines, déclarées d'utilité publique, présente, abstraction faite du raccordement de ces lignes entre elles, un développement de 77 kilomètres environ, qui se décompose en trois réseaux : le premier, de 42 kilomètres, formé des trois premières lignes; le second, de 20 kil. 7, composé des deux lignes suivantes; le troisième, de 14 kil. 5, constitué par les deux dernières lignes. La construction du premier réseau devait être terminée dans un délai maximum de huit ans, expirant le 30 mars 1906 : elle a été achevée à la fin de décembre 1905. La construction des deux autres réseaux comporte un délai de dix ans, compté de la remise de la dernière fraction du premier réseau. Cette remise ayant été accomplie le 28 décembre 1905, c'est le 28 décembre 1915 au plus tard que l'ensemble des huit lignes doit être achevé. Il est aujourd'hui certain que cette durée sera sensiblement abrégée.

Pour faire face aux dépenses d'infrastructure, la Ville a été autorisée par deux lois, l'une du 4 avril 1898, l'autre du 26 juin 1903, à contracter des emprunts spéciaux dont le total s'élève à 335 millions de francs. Les prélèvements à opérer sur les produits bruts du trafic fourniront au service

de ces deux emprunts. Le premier, de 165 millions de francs, a été ouvert en deux fois : une première émission de 115 millions a eu lieu le 18 novembre 1899; une seconde de 50 millions, le 1er décembre 1902. Les obligations, remboursables à 500 francs, ont été offertes à 410 francs; elles rapportent 2 p. 100 d'intérêt; un certain nombre de lots sont affectés à chaque tirage. Le taux de cet emprunt, compris intérêt, amortissement, lots, primes de remboursement, ressort à 3,5 p. 100. Le second emprunt, de 170 millions, a été ouvert le 16 avril 1904. Les obligations, également à lots et remboursables à 500 francs, ont été offertes à 440 francs; elles rapportent 2,50 p. 100 d'intérêt. Le taux de revient total de cet emprunt ressort à 3,7 p. 100.

Sur la somme totale de 335 millions ainsi empruntée, 285 millions seulement s'appliquent aux dépenses d'infrastructure proprement dites; le reste va aux frais d'emprunt (7 millions), aux dépenses de voirie nécessitées par l'exécution de certaines lignes (28 millions), enfin à une réserve (environ 15 millions) qui pourra être utilisée ultérieurement pour la construction d'embranchements ou de raccordements. La longueur totale des huit lignes atteint 77 kilomètres. Si l'on ajoute les voies d'évitement, de raccordement, etc., on arrive à un total de 84 kil. 7 de voie double. En tablant sur ce dernier chiffre, on voit que l'infrastructure du Métropolitain ressort à un prix moyen kilométrique de 3 400 000 francs environ. On peut estimer, d'autre part, à 1 500 000 francs au minimum le prix kilométrique des dépenses à la charge de la Compagnie concessionnaire, de sorte que l'ensemble des dépenses par kilomètre de voie double ressort, en chiffres ronds, à 4 900 000 francs.

Aux termes de la convention annexée à la loi du 30 mars 1898, la Ville n'était tenue qu'à la construction du premier réseau, c'est-à-dire des trois lignes Porte de Vincennes-Porte Dauphine, Circulaire par les anciens boulevards extérieurs, et Porte Maillot–Ménilmontant. Mais le succès de la première de ces lignes décida de poursuivre l'exécution intégrale des trois réseaux. L'étude des relations à ménager entre les lignes et des meilleures conditions d'exploitation à appliquer dans l'intérêt du service public conduisit seulement à modifier légère-

ment les parcours prévus, tout en respectant l'ensemble du tracé.

La ligne n° 1, qui devait aboutir à la Porte Dauphine, se rend directement de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot. La ligne n° 2, Circulaire par les anciens boulevards extérieurs, a été fractionnée en deux parties. A la partie nord, qui correspondait aux boulevards de la rive droite, a été rattaché le tronçon Porte Dauphine-Place de l'Étoile, de telle sorte que la Circulaire Nord forme une ligne continue de la Porte Dauphine jusqu'à la place de la Nation par les boulevards du nord. La partie sud a été sectionnée à la place d'Italie : le tronçon venant de la place de l'Étoile a été soudé à la ligne n° 6 de façon à former une ligne continue de la place de l'Étoile jusqu'à la place de la Nation par les boulevards du sud ; en même temps, le nouveau tronçon prenant son point de départ à la place d'Italie a été rattaché à la ligne n° 5 et celle-ci a été prolongée jusqu'à la gare du Nord, réalisant ainsi une ligne ininterrompue depuis la Gare du Nord jusqu'à la Place d'Italie. La ligne n° 3 a eu son origine reportée au carrefour du boulevard de Courcelles et de l'avenue de Villiers, au point de séparation avec la ligne Circulaire-Nord.

Enfin, le tracé de la ligne n° 4 a été dévié dans sa partie centrale de façon à desservir la Cité, et dans sa partie sud de façon à desservir la gare Montparnasse. On trouvera ci-joint un plan de Paris sur lequel a été rapporté le tracé des huit lignes métropolitaines. Pour guider le lecteur dans ce dédale de voies qui se croisent en tous sens, nous croyons bien faire en donnant succinctement, malgré la sécheresse d'une telle énumération, l'itinéraire des différentes lignes.

Ligne n° 1 de la Porte de Vincennes à la Porte Maillot. — Cours de Vincennes ; place de la Nation ; boulevard Diderot (gare de Lyon P. L. M.) ; rue de Lyon ; place de la Bastille (gare de Vincennes) ; rues Saint-Antoine et de Rivoli ; place de la Concorde ; Champs-Élysées ; place de l'Étoile ; avenue de la Grande-Armée.

Ligne n° 2 Circulaire Nord. — Porte Dauphine ; avenue Bugeaud ; place Victor-Hugo ; avenue Victor-Hugo ; place de l'Étoile ; avenue Wagram ; place des Ternes ; boulevards de Courcelles, des Bati-

gnolles, de Clichy, Rochechouart, de la Chapelle, de la Villette, de Belleville, de Ménilmontant, de Charonne; place de la Nation.

Ligne n° 2 Circulaire Sud (partie) et ligne n° 6 de la place de l'Étoile à la place de la Nation. Ligne n° 2 Sud. — Place de l'Étoile; avenue Kléber; place du Trocadéro; rue Franklin; rue Alboni; boulevards de Grenelle, Garibaldi, Pasteur, de Vaugirard, Edgar-Quinet, Raspail; place Denfert-Rochereau (gare de Sceaux); boulevards Saint-Jacques, Auguste-Blanqui; place d'Italie. *Ligne n° 6.* — Place d'Italie; boulevard de la Gare; pont de Bercy; boulevards de Bercy, de Reuilly, de Picpus; avenue du Bel-Air; place de la Nation.

Ligne n° 3 du Boulevard de Courcelles à Ménilmontant. — Carrefour de l'avenue de Villiers et du boulevard de Courcelles; rue de Constantinople; rue de Rome (gare Saint-Lazare); boulevard Haussmann; rue Auber; place de l'Opéra; rue du Quatre-Septembre; la Bourse; rue Réaumur; rue de Turbigo; rue du Temple; place de la République; avenue de la République; avenue et place Gambetta.

Ligne n° 4 de la Porte de Clignancourt à la Porte d'Orléans. — Porte de Clignancourt; boulevards Ornano, Barbès, Magenta; rue de Dunkerque; place de Roubaix (gare du Nord); rue d'Alsace (gare de l'Est); boulevards de Strasbourg et de Sébastopol; rue de Turbigo; rues Baltard, des Halles, Saint-Denis; place du Châtelet; la Cité; place Saint-Michel; rue Danton; boulevard Saint-Germain; rue de Rennes; place de Rennes (gare Montparnasse); boulevards du Montparnasse et Raspail; place Denfert-Rochereau (gare de Sceaux); avenue et porte d'Orléans.

Ligne n° 5 et ligne n° 2 Sud (partie) de la Gare du Nord à la Place d'Italie. Ligne n° 5. — Place de Roubaix (gare du Nord); boucle par le boulevard de Denain, le boulevard de Magenta et la rue de Saint Quentin; boulevard de Magenta; rue de Strasbourg (gare de l'Est); rue du Faubourg-Saint-Martin; boulevard de Magenta; place de la République; boulevard Voltaire; boulevard Richard-Lenoir; place de la Bastille; boulevard Bourdon; place Mazas. *Ligne n° 2 Sud.* — Place Mazas; gare d'Austerlitz; boulevard de l'Hôpital; place d'Italie.

Ligne n° 7 du Palais-Royal à la place du Danube. — Place du Palais-Royal; place du Théâtre-Français; avenue de l'Opéra; place de l'Opéra; rue Halévy; rue La Fayette; rue de Chabrol; rue de

Strasbourg (gare de l'Est); rue du Faubourg-Saint-Martin; rue La Fayette; rue Secrétan; parc des Buttes-Chaumont; rue Botzaris; rue du Général-Brunet; place du Danube[1].

Ligne n° 8, d'Auteuil à l'Opéra, par Grenelle. — Porte d'Auteuil (gare d'Auteuil); porte Molitor; rues Molitor et Mirabeau; pont Mirabeau; rues Frémicourt et du Commerce; avenue de la Motte-Picquet; boulevard de la Tour-Maubourg; les Invalides; rue de Constantine (gare de l'Ouest); quai de la Conférence; place de la Concorde; rue Royale; boulevards de la Madeleine et des Capucines; place de l'Opéra.

L'ordre d'exécution de ces lignes est fixé par la convention de concession; toutefois, il est loisible à la Ville d'entreprendre simultanément plusieurs lignes, à condition de ne pas troubler l'ordre adopté. Il a été fait usage de cette faculté; aujourd'hui, à l'exception de la ligne n° 8, toutes les lignes sont ou construites ou en cours de construction. La situation est actuellement la suivante :

La ligne n° 1 (Porte de Vincennes–Porte Maillot), la ligne Circulaire n° 2 Nord (Porte Dauphine-Place de la Nation, par les boulevards de la rive droite), la partie de la ligne Circulaire n° 2 Sud, comprise entre la place de l'Étoile et la Seine, et enfin la ligne n° 3 (Boulevard de Courcelles–Ménilmontant) sont en exploitation. La partie de la ligne Circulaire n° 2 Sud, comprise entre la Seine et la place d'Italie, est sur le point d'être ouverte au trafic. La ligne n° 5 (Gare du Nord-Pont d'Austerlitz), à l'exception du terminus de la Gare du Nord, et la partie de la ligne Circulaire n° 2 Sud qui lui fait suite jusqu'à la place d'Italie, sont terminées comme infrastructure; dans quelques mois, elles pourront être mises en service entre la place de la République et la place d'Italie. L'infrastructure de la ligne n° 6 (Place d'Italie-Place de la Nation) s'achève. Enfin les chantiers de la ligne n° 4

1. L'itinéraire de la ligne n° 7, tel qu'il est indiqué ici, n'est pas définitif. Par deux délibérations récentes, le Conseil municipal a décidé, d'une part, que l'origine de la ligne serait reportée à la place de l'Hôtel-de-Ville par la rue des Pyramides, la rue des Tuileries et les quais de rive droite, d'autre part que le terminus de la place du Danube serait supprimé et remplacé par une boucle passant par la rue David-d'Angers, le boulevard Sérurier, la porte du Pré-Saint-Gervais, la rue des Bois, la rue du Pré-Saint-Gervais, la place des Fêtes et la rue de Crimée.

(Porte de Clignancourt-Porte d'Orléans) et n° 7 (Palais-Royal-Place du Danube) sont en pleine activité. Quant à la ligne n° 8, le projet est en préparation ; il sera soumis au Conseil municipal dans le cours de la présente année.

***

Un tel succès accueillit l'ouverture des premières lignes métropolitaines que la Ville crut devoir rechercher les moyens de parachever l'œuvre entreprise par la construction de lignes nouvelles. Dans le courant de 1903, elle a concédé à MM. Berlier et Janicot une ligne partant de Montmartre (place des Abbesses) pour aboutir à la gare Montparnasse en passant par la Trinité, la gare Saint-Lazare, la place de la Concorde, le boulevard Saint-Germain, le boulevard Raspail et la rue de Rennes, avec extensions au nord sur la porte de Saint-Ouen par la rue d'Amsterdam, l'avenue de Clichy et l'avenue de Saint-Ouen, au sud sur la porte de Versailles par le boulevard du Montparnasse et la rue de Vaugirard. Cette ligne a été déclarée d'utilité publique par deux lois des 3 avril et 19 juillet 1905; l'exécution en est entreprise. La concession diffère de celle du réseau municipal en ce que la Société rétrocessionnaire, qui a pris le nom de *Société du Chemin de fer électrique souterrain Nord-Sud de Paris*, est chargée de la totalité des travaux.

Depuis cette époque, le Conseil municipal a décidé de poursuivre la déclaration d'utilité publique des lignes suivantes :

Prolongement de la ligne n° 3 sur la Porte de Champerret par le boulevard Malesherbes et l'avenue de Villiers;

Embranchement de la ligne n° 7 sur la Porte de la Villette par la rue du Faubourg-Saint-Martin et la rue de Flandre;

Prolongement de la ligne n° 7 jusqu'à la place de l'Hôtel-de-Ville par la rue des Tuileries et les quais de rive droite;

Ligne de l'Opéra à la Porte de Saint-Cloud, par le boulevard Haussmann, Saint-Augustin, les rues La Boëtie et Pierre-Charron, l'avenue et la place du Trocadéro, l'avenue Henri-Martin, les rues de la Pompe, Mozart, La Fontaine et Michel-Ange;

Ligne de l'Opéra à la Porte des Ternes, s'embranchant sur la précédente à Saint-Augustin et empruntant le boulevard Haussmann, la rue du Faubourg-Saint-Honoré, la place et l'avenue des Ternes;

Ligne de Ceinture intérieure, des Invalides aux Invalides par les grands boulevards de la rive droite et le boulevard Saint-Germain;

Ligne de la Porte d'Italie à la Porte de Montreuil, par l'avenue et la place d'Italie, l'avenue des Gobelins, la rue Monge, la place Maubert, la rue Lagrange, la Cité, la place de l'Hôtel-de-Ville, la future rue Beaubourg, les rues Réaumur et du Temple, la place de la République, le boulevard Voltaire, la rue de Montreuil et la rue d'Avron;

Embranchement de la ligne précédente, de la Place de la République à la Porte de Romainville par les rues du Faubourg-du-Temple et de Belleville;

Ligne de la Place Denfert-Rochereau à la Place Saint-Michel par l'avenue de Montsouris, la place et la rue Denfert-Rochereau et le boulevard Saint-Michel, englobant la partie de la ligne d'intérêt général de Paris à Sceaux et à Limours, comprise entre la place Denfert-Rochereau et la Sorbonne, laquelle serait rétrocédée à la Ville de Paris par la Compagnie d'Orléans;

Ligne des Invalides à la Porte de Châtillon, par les boulevards des Invalides et du Montparnasse, l'avenue du Maine et l'avenue de Châtillon.

En outre, le Conseil municipal a réclamé l'étude et la mise à l'enquête des lignes suivantes :

Prolongement de la ligne n° 3 jusqu'à la Porte de Romainville par l'avenue Gambetta;

Prolongement de la ligne n° 4 jusqu'au Parc de Montsouris par le boulevard Jourdan;

Embranchement de la ligne n° 4 sur la Porte de Clichy par les rues Ordener, Championnet, la Jonquière et le boulevard Bessières;

Embranchement de la ligne n° 8 sur la Porte de Sèvres avec prolongement éventuel sur le Pont Mirabeau, par la rue du Commerce, l'avenue Félix-Faure, la porte de Sèvres et la rue Balard;

Ligne de la Place de la Bastille à la Porte Dorée par le boulevard et la place de la Bastille, la rue du Faubourg-Saint-Antoine, la rue de Reuilly et l'avenue Daumesnil;

Ligne de la Porte de Saint-Cloud à la Place de la Bastille par les quais de rive droite et le boulevard Henri IV;

Ligne de la Porte Maillot à la Porte Dorée par l'avenue Malakoff, le Trocadéro, les quais de rive droite, le pont Mirabeau, les rues de la Convention, de Vouillé, d'Alésia, de Tolbiac, le pont de Tolbiac, les rues de Dijon, Proudhon et Taine, la place et l'avenue Daumesnil.

*
* *

Nous avons dit que la première idée du Métropolitain avait été inspirée par l'exemple de Londres. La capitale anglaise possédait un chemin de fer, analogue à notre Chemin de fer de Ceinture, avec cette différence qu'il dessert des zones beaucoup plus peuplées. Plus tard, elle aborda la construction d'une série de lignes électriques souterraines, dites « tube railways » dont la plus ancienne est le *City and South London Railway*, les plus récentes le *Central London*, dit *two penny tube*, le *Great Northern and City Railway* et le *Baker Street and Waterloo Railway;* deux autres tubes sont en cours de construction. Parmi les innombrables projets antérieurs à la constitution de notre réseau métropolitain, celui de M. J.-B. Berlier, l'ingénieur bien connu, était conçu sur le modèle des tubes de Londres.

Ces tubes sont établis dans des souterrains circulaires, qui reçoivent un revêtement métallique, formé de segments en fonte boulonnés les uns aux autres ; chaque voie a son souterrain séparé, dont le profil épouse aussi étroitement que possible le gabarit du matériel roulant, et les souterrains sont construits à grande profondeur ; une section plus large est adoptée pour les stations auxquelles on accède de la voie publique par des ascenseurs, qui fonctionnent dans des puits verticaux à revêtement métallique. Ce mode de construction est excellent lorsqu'il s'agit d'établir la voie ferrée dans des terrains mouillés, à la traversée d'un fleuve, par exemple ; c'est dans ces conditions qu'il a reçu sa première application à Londres. En pareils terrains, en effet, on ne peut percer les galeries qu'au moyen d'un engin spécial appelé bouclier, au sujet duquel des explications seront données plus loin ; or, la forme circulaire est de beaucoup la plus pratique pour l'emploi de cet engin. Il est logique de séparer les deux voies et de les placer dans des souterrains jumeaux, parce que, bien qu'on ait pu, comme à Blackwall (un des faubourgs de Londres), traverser le lit de la Tamise avec un bouclier de grandes dimensions[1], il est plus facile, plus sûr

1. Le tunnel de Blackwall, qui livre passage à une voie charretière avec trot-

et plus économique de recourir à la petite section. Enfin, le revêtement en fonte se justifie par la nécessité d'obtenir, sous un petit volume, une paroi très résistante, susceptible d'être réalisée rapidement, sans installations encombrantes.

Mais si le terrain à traverser n'est pas mouillé et présente une cohésion suffisante, — comme c'est le cas général à Londres où les tubes sont construits dans l'argile compacte que l'on rencontre uniformément dans le sous-sol de la capitale anglaise, — cette solution ne se justifie guère. Le revêtement en fonte est alors parfaitement inutile ; son emploi entraîne un surcroît de dépenses qui grève inutilement le capital de premier établissement. Les souterrains jumeaux, dans lesquels les voies et les stations sont isolées, sont une gêne constante pour l'exploitation. L'établissement des souterrains à grande profondeur donne lieu à des difficultés d'accès qui se traduisent par une perte de temps pour le public et une dépense élevée pour les ascenseurs[1] ; il peut entraîner des désordres graves dans les immeubles voisins, soit en cas d'accident pendant la construction, soit aussi pendant la période d'exploitation, en raison de la propagation, par le terrain ambiant, des chocs et des vibrations dus au passage des trains.

Tous ces inconvénients, révélés par l'exemple de Londres, se seraient évidemment présentés à Paris si l'on avait adopté le même système, avec cette circonstance aggravante qu'en nombre de points le sous-sol parisien étant mouillé par des nappes souterraines, le travail à grande profondeur eût été rendu plus difficile, plus dangereux et plus onéreux. Aussi, les ingénieurs de la Ville ont-ils pris une solution tout à fait différente, qui peut se définir par les caractéristiques suivantes : proscription absolue des tubes à revêtements métal-

toirs latéraux, est à section circulaire de 8 m. 23 de diamètre hors œuvre ; on exécute en ce moment sous la Tamise à Londres, mais plus à l'aval, un tunnel semblable, celui de Rotherhithe, dont la section circulaire a un diamètre de 9 m. 14 hors œuvre.

1. D'une étude récente que nous avons faite en vue de déterminer les charges financières résultant de l'installation d'ascenseurs dans les stations profondes du Métropolitain de Paris, il ressort que les frais de premier établissement d'un ascenseur à 60 places peuvent être évalués à 136.000 francs en moyenne, et les frais annuels d'exploitation et d'entretien à 21 000 francs environ.

liques, sauf à la traversée du lit de la Seine ; adoption d'un souterrain maçonné à double voie ; maintien du tracé aussi près que possible de la surface du sol.

Les avantages de cette conception sont la contre-partie des inconvénients relevés ci-dessus : l'abandon des revêtements métalliques, surtout en France où le prix de la fonte est notablement supérieur à ce qu'il est en Angleterre, procure une économie importante ; l'adoption d'un souterrain unique, contenant les deux voies, facilite les conditions d'exploitation ; le tracé à la surface rend plus commode l'accès des stations, supprime les inconvénients et la dépense des ascenseurs, atténue pour les édifices riverains tout danger pendant la période de construction, toute incommodité pendant l'exploitation.

On peut objecter au tracé de surface l'inconvénient de remanier les canalisations souterraines, — égouts, conduites d'eau et de gaz, câbles électriques, etc., — qui se trouvent nombreuses dans le sous-sol des voies publiques. L'inconvénient n'est pas niable ; mais dans la pratique, il a toujours été possible de rétablir ces canalisations sans difficulté sérieuse, et la dépense, bien que fort importante, n'est pas comparable au surcroît de frais que le tube cause en pure perte ; et cette dépense ne peut être mise en balance avec les avantages procurés.

Les ingénieurs spéciaux s'accordent presque unanimement à reconnaître aujourd'hui que la solution qui consiste à placer les chemins de fer urbains le plus près possible de la surface des voies publiques et à faire appel aux capitaux et au crédit des municipalités est de beaucoup préférable au système des tunnels à grande profondeur, construits entièrement aux frais et sous la direction d'entreprises privées. Cette opinion s'est dégagée nettement au Congrès international des ingénieurs, tenu à Saint-Louis, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1904. Les *Underground*[1] de New-York, de Boston et de Philadelphie sont construits à faible profondeur, comme le Métropolitain de Paris. Un argument typique en faveur du tracé à

1. Les ingénieurs américains désignent sous le nom d'*Underground railways* les voies ferrées placées sous la surface du sol des villes et destinées à desservir la circulation locale, par opposition à la dénomination de *Tunneling railways* qui est appliquée aux voies ferrées des grandes lignes traversant les villes.

fleur de sol peut être également tiré des dispositions finalement adoptées pour la construction de la ligne de Montmartre (place des Abbesses) à Montparnasse, concédée comme il a été dit à MM. Berlier et Janicot en 1903. L'avant-projet comportait un tracé à grande profondeur avec stations desservies par des ascenseurs : le premier soin de la société chargée de la construction et de l'exploitation a été de remonter le tracé au voisinage immédiat du sol, dans les mêmes conditions que le réseau municipal. Le Métropolitain de Paris est donc établi sur les données générales qui, à l'heure actuelle, sont considérées comme étant à la fois les plus pratiques et les plus rationnelles.

***

Sur 10 p. 100 environ de la longueur totale, le chemin de fer sera aérien ; sur le reste du parcours, il sera construit en souterrain. Le réseau urbain est établi sur ou sous la voie publique ; ce n'est que dans des cas très rares, et toujours pour des parcours extrêmement limités, qu'il pénètre dans le tréfonds des immeubles riverains. En raison des sujétions de toute nature qui résultent de cette disposition, le tracé des lignes a dû se soumettre à une flexibilité beaucoup plus grande que celle des grands réseaux : sur ceux-ci, les déclivités restent en général au-dessous de 20 millimètres par mètre, et la courbure de la voie ne descend guère au-dessous du rayon de 300 mètres ; sur le Métropolitain les pentes et rampes peuvent atteindre 40 millimètres par mètre, et le rayon des courbes s'abaisser jusqu'à 75 mètres, voire même, exceptionnellement, il est vrai, jusqu'à 50 mètres.

Le profil normal du souterrain à deux voies est constitué par une voûte elliptique de 7 m. 10 d'ouverture et de 2 m. 07 de montée qui repose sur deux piédroits latéraux limités intérieurement par un arc de cercle, avec 2 m. 91 de hauteur ; la section est complétée par l'arc concave du radier présentant une flèche de 0 m. 22. La hauteur totale intérieure de l'ouvrage est ainsi de 5 m. 20 ; le niveau du rail se trouve à 4 m. 50 de l'intrados (paroi intérieure du souterrain) à la clef

(point culminant de la paroi) et à o m. 70 du fond du radier; la hauteur libre sur le rail extérieur est de 4 m. o5. La largeur au niveau du rail est de 6 m. 60. Les parties essentielles du revêtement sont constituées par la voûte et les piédroits; la voûte a o m. 55 d'épaisseur à la clef, les piédroits ont o m. 75. Quant au radier, dont le rôle, dans le cas général, est de moindre importance, il a surtout pour but de séparer nettement la voie du terrain ambiant, et, en complétant la section maçonnée, de faciliter l'isolement électrique de la ligne; on lui donne ordinairement o m. 50 d'épaisseur au point bas, avec une surface d'appui horizontale. L'application des dispositions précédentes suppose que la distance entre le rail et la surface du sol descend à 6 mètres, environ. Quand cette condition ne peut être réalisée, on a recours à l'emploi d'un tablier métallique, porté sur piédroits en maçonnerie, véritable plancher composé de poutres en acier que réunissent des voûtelettes en briques, et combiné de façon à réserver au moins 3 m. 50 de hauteur libre au-dessus du rail.

Pour les raccordements de service entre les diverses lignes, le souterrain n'a qu'une voie. La voûte en plein cintre a 4 m. 30 d'ouverture et repose sur des piédroits de 2 m. 62 de hauteur; la surface du radier présente une légère convexité, avec flèche de o m. 075. La hauteur totale intérieure, sur l'axe, est ainsi de 4 m. 695, le rail se trouvant à 4 mètres de l'intrados à la clef et à o m. 695 au-dessus du radier. La voûte a o m. 50 d'épaisseur à la clef, le piédroit o m. 60 et le radier o m. 55 d'épaisseur au point bas.

Telles sont les dimensions des souterrains construits en ligne droite. Lorsque la voie est en courbe de faible rayon (au-dessous de 100 mètres pour double voie et de 50 mètres pour voie unique) ces dimensions ne suffiraient pas au passage du matériel roulant avec les intervalles libres exigés par la loi : un élargissement est nécessaire. Pour la traversée sous la Seine des lignes n[os] 4 et 8, on aura recours aux tubes à revêtement métallique.

Les stations sont voûtées lorsque la hauteur libre le permet, c'est-à-dire lorsqu'il y a au moins 7 mètres entre le rail et la surface du sol; elles sont couvertes d'un tablier métallique lorsque cette hauteur n'est pas disponible. Pour la sta-

tion voûtée, la section est formée de deux demi-ellipses ayant un grand axe commun de 14 m. 14 établi à 1 m. 50 au-dessus du rail : l'une de ces ellipses forme la voûte, l'autre le radier; le petit axe est de 3 m. 70 pour la première et de 2 m. 20 pour la seconde, ce qui porte la hauteur totale libre à 5 m. 90. La voûte a 0 m. 70 d'épaisseur à la clef, le radier 0 m. 50, les culées 2 mètres. Les stations à tablier métallique ont 13 m. 50 de largeur en œuvre. Le tablier repose sur des piédroits en maçonnerie dont la largeur à la base est de 1 m. 50, se réduisant à 1 m. 15 sous les poutres; ces piédroits sont réunis par un radier concave de 0 m. 50 d'épaisseur. Le rail est à 4 m. 70 sous poutre et à 0 m. 70 au-dessus du point bas du radier. Les poutres du tablier, à âme pleine, et jumelées, ont 1 m. 02 de hauteur et vont d'un piédroit à l'autre sans appui intermédiaire; elles sont réunies par des longerons, parallèles à l'axe du tracé, qui forment retombées pour de petites voûtes en briques. Tout cet ensemble porte directement le béton de fondation du pavage en bois.

Une station ordinaire, qu'elle soit voûtée ou couverte d'un tablier métallique, comprend deux quais latéraux de 75 m. de longueur et 4 m. 10 de largeur ; le niveau des quais est à 0 m. 25 au-dessous du plancher des voitures, celles-ci étant supposées neuves et vides, et à 0 m. 85 au-dessus du rail. On accède aux stations par un escalier débouchant sur la voie publique. Cet escalier, d'une seule volée droite, a de 3 m. à 3 m. 50 de largeur dans les cas ordinaires. Il conduit à une salle souterraine où l'on distribue les billets ; de cette salle, on atteint le quai le plus proche par un autre escalier large de 2 m. 75, et l'on arrive à l'autre quai par un escalier semblable à celui-ci, après avoir franchi la voûte du chemin de fer au moyen d'une passerelle de 3 mètres de largeur. Les escaliers inférieurs débouchent sur le quai, en général par une baie ouverte dans le mur pignon de la station, plus rarement à travers la culée.

***

Dans les parties aériennes du tracé, les voies sont supportées par un viaduc métallique, formé d'une suite de travées

indépendantes, qui sont de portée variable et composées de deux poutres de rive soutenant le tablier à leur partie inférieure. Ces travées prennent appui sur des colonnes en fonte, partout où cette disposition a paru compatible avec la stabilité des ouvrages ; sur les points où il a fallu adopter des piliers en maçonnerie, les dimensions de ces piliers ont été réduites au minimum, afin d'entraver le moins possible la circulation à la surface du sol. L'implantation du viaduc respecte les voies de communication existantes. L'ouverture des travées est commandée en certains points par les conditions locales ; là ou cette sujétion n'existe pas, c'est une ouverture voisine de 22 mètres qui satisfait le plus commodément aux données de la construction. Des portées plus grandes ont dû être adoptées à la traversée de voies importantes ou de chemins de fer d'intérêt général : c'est ainsi que le passage de la ligne Circulaire Nord sur les chemins de fer du Nord et de l'Est, a nécessité la construction de trois travées de 75 m. 25 d'ouverture.

Les poutres des viaducs sont à treillis, dont les barres alternativement verticales et inclinées, donnent l'impression d'une série de lettres N juxtaposées, d'où son nom de treillis en N. Les semelles inférieures sont rectilignes, les semelles supérieures sont paraboliques. La hauteur moyenne des poutres est environ le dixième de la portée ; elles sont simples ou composées de deux poutres jumelées selon que la distance entre appuis est plus ou moins considérable. Le tablier est constitué par des entretoises transversales. Dans le cas le plus général, la voie est ballastée, et le ballast est soutenu par des voûtelettes en briques qui réunissent les entretoises les unes aux autres. Cette disposition a été adoptée en vue de diminuer les vibrations au passage des trains, et d'atténuer, dans la mesure du possible, le bruit et les trépidations qui en résultent. Toutefois, dans les viaducs de grande portée, la pose des voies sur ballast aurait entraîné une trop forte augmentation de poids et une dépense exagérée : la voie est alors placée directement sur le tablier, constitué par des entretoises réunies par des longerons que recouvre un platelage métallique. Dans les parties aériennes, le rail a été placé à 6 m. 36, au moins, au-dessus des voies charretières ; cette distance correspond à une hauteur libre de 5 m. 20 sous les poutres, et cette hau-

teur est suffisante pour le passage des plus hauts chargements qui circulent dans Paris.

Les stations aériennes sont conçues sur le même type que les viaducs. Chaque station, de 75 mètres de longueur totale, est formée de 5 travées indépendantes comprenant 4 files de poutres. Les deux files centrales, à âme pleine, supportent à la fois le tablier des voies et les quais latéraux qui ont une largeur de 4 m. 10 ; les files extérieures, à treillis, forment le second appui des quais. Une toiture en fer et vitrage recouvre chaque quai. Sur la ligne Circulaire–Nord, l'accès aux stations aériennes se fait par un escalier, qui, partant de la voie publique, mène à un palier intermédiaire où se trouvent établis les guichets de distribution des billets ; de ce palier, deux escaliers latéraux conduisent aux quais. Sur la ligne Circulaire-Sud, la salle des billets se trouve de plain-pied avec la voie publique, entre les appuis de la travée qui précède ou qui suit immédiatement la station ; les escaliers conduisant aux quais font face à la salle des billets.



D'une façon générale, les diverses lignes du Métropolitain ont leur existence propre; elles ne s'embranchent pas les unes sur les autres ; au point de contact des lignes, les voyageurs changent de voiture. Ce système donne plus de régularité à l'exploitation et permet de desservir chaque ligne d'une façon plus intense ; il supprime d'ailleurs une cause d'accidents : la prise en écharpe aux aiguillages, qui est d'autant plus à redouter que le nombre des trains est plus grand. On lui reproche, il est vrai, d'accroître la fatigue des voyageurs et de causer une perte de temps appréciable ; mais la sécurité et la régularité de l'exploitation doivent l'emporter sur cette légère incommodité du public. Il faut reconnaître cependant, que dans certaines stations d'échange les communications de quai à quai pourraient être notablement améliorées; la question est à l'étude.

Malheureusement, l'autonomie des lignes métropolitaines ne pourra pas être maintenue en règle absolue : pour certaines parties du réseau complémentaire, on sera obligé de recourir

à des bifurcations en pleine voie. On s'efforcera toutefois, de placer la bifurcation immédiatement à la sortie d'une station, pour les trains se dirigeant vers le tronc commun, de façon à limiter les risques d'une collision.

Les trains circulant à des intervalles très rapprochés, il importe d'éviter toute perte de temps aux terminus, ce qui conduit à rechercher le moyen de supprimer, en ces points, toute manœuvre d'aiguillage, de refoulement, etc. On y est parvenu en établissant aux extrémités de chaque ligne, une boucle d'évitement, qui permet aux trains de passer directement de l'arrivée au départ. Les conditions d'installation de cette boucle varient suivant la disposition des lieux. Aux extrémités de la ligne nº 1, par exemple, qui se trouvent placées dans de larges avenues, on a établi au terminus deux stations distinctes, l'une pour l'arrivée, l'autre pour le départ, et ces stations ont été réunies par un souterrain en courbe de faible rayon ; au terminus de la ligne Circulaire-Nord, à la place de la Nation, on a fait décrire à la voie ferrée un cercle aussi grand que possible, et sur le parcours de ce cercle on a placé la station finale. Cette seconde solution permet d'ailleurs, en construisant la boucle à deux voies, de munir le terminus de garages sur lesquels on peut remiser des trains de réserve et une partie des trains du service courant aux heures où l'exploitation est moins chargée.



Les maçonneries du Métropolitain sont, d'une façon presque exclusive, exécutées au mortier de ciment ; on obtient ainsi, en même temps qu'une prise plus rapide, une résistance plus grande pour une même épaisseur. La prise rapide des maçonneries est nécessaire pour des ouvrages exécutés en souterrain, et un surcroît de résistance conduit finalement à une économie. La chaux n'a été employée que pour les maçonneries à l'air libre, comme les piles supportant les viaducs. En souterrain, on utilise deux sortes de maçonnerie : la maçonnerie de meulière et le béton ; la meulière est employée pour la confection des voûtes ; le béton sert à exécuter les piédroits et les radiers.

La meulière est une pierre siliceuse, légère, poreuse, prenant bien le mortier, que l'on rencontre aux environs de Paris. Les cailloux qui entrent dans la confection du béton se trouvent en abondance dans les alluvions de la Seine. Le ciment est du ciment de Portland ou du ciment de laitier. Les mortiers de ciment de Portland sont dosés à raison de 300 kilogrammes de ciment pour un mètre cube de sable, lorsqu'ils sont employés dans les maçonneries, et à raison de 400 kilogrammes pour le même volume de sable, lorsqu'ils sont destinés à la fabrication des bétons. Dans les mortiers de ciment de laitier, les proportions de ciment indiquées ci-dessus sont augmentées de 50 kilogrammes. Le béton est composé de 800 litres de cailloux pour 550 litres de mortier.

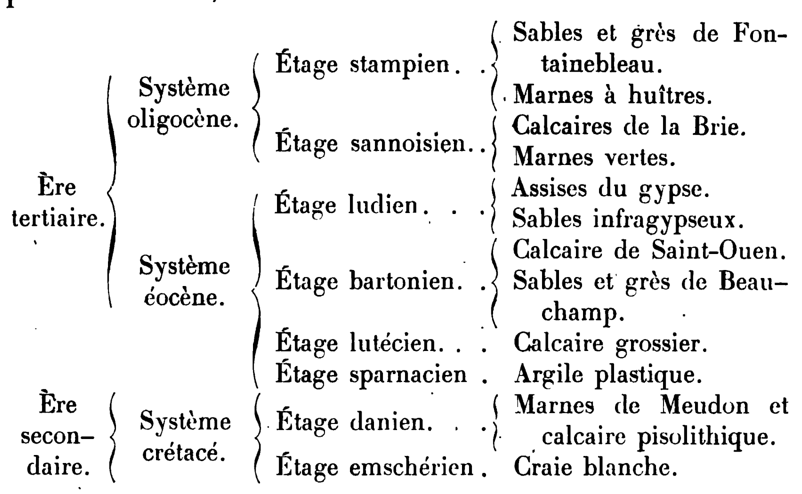
Pour les ouvrages en élévation : grands ponts sur la Seine, appuis des viaducs, ouvrages en maçonnerie aux points de passage des viaducs au souterrain, etc., on a eu recours à la pierre de taille, qui provient principalement des carrières de Souppes, d'Euville, de Comblanchien et de Coutarnoux. A l'intérieur des stations, tous les parements visibles sont uniformément revêtus de carreaux blancs, en grès émaillé, ou en opaline, ou, mais exceptionnellement, de brique émaillée. Dans tous les autres ouvrages, les parements ont reçu un simple enduit de ciment : ciment de Vassy à prise rapide pour la voûte, ciment de Portland pour les piédroits et le radier.

Les viaducs et, d'une façon générale, tous les ouvrages métalliques sont en acier doux laminé, donnant, sous une charge de rupture de 45 kilogrammes par millimètre carré de section, un allongement de 23 p. 100. Les matières proviennent des aciéries de Mont-Saint-Martin, Micheville, Anzin et Denain, Montataire, etc.



Paris est bâti dans une plaine, qu'encerclent les hauteurs de Passy, de Montmartre, de Belleville et de Ménilmontant, du Montparnasse et de la Montagne Sainte-Geneviève. Les érosions de la Seine ont fait disparaître, dans la plaine, une grande partie des premiers dépôts sédimentaires pour y substituer une couche d'alluvions. Si l'on fait abstraction de ces

érosions, on peut reconstituer la succession normale des dépôts dont l'épaisseur totale, entre les sables de Fontainebleau, à la partie supérieure, et la craie de Meudon, à la partie inférieure, atteindrait 135 mètres environ :



Ère tertiaire.	Système oligocène.	Étage stampien. .	Sables et grès de Fontainebleau. Marnes à huîtres.
		Étage sannoisien. .	Calcaires de la Brie. Marnes vertes.
	Système éocène.	Étage ludien. . .	Assises du gypse. Sables infragypseux.
		Étage bartonien. .	Calcaire de Saint-Ouen. Sables et grès de Beauchamp.
		Étage lutécien. . .	Calcaire grossier.
		Étage sparnacien .	Argile plastique.
Ère secondaire.	Système crétacé.	Étage danien. . .	Marnes de Meudon et calcaire pisolithique.
		Étage emschérien .	Craie blanche.

Les couches ne sont pas horizontales ; elles plongent suivant une direction inclinée de Meudon vers Saint-Denis, en s'épaississant progressivement, de telle sorte que les diverses assises rencontrées sont de plus en plus puissantes, mais aussi de plus en plus profondes lorsqu'on traverse Paris du sud-ouest au nord-est. Dans la plaine, les assises supérieures n'existent plus, et le sous-sol est formé d'alluvions, qui reposent directement sur les marnes du calcaire grossier. Les formations superposées à ce dernier ne se rencontrent que sur les hauteurs qui dominent le fleuve. Les sables de Fontainebleau, les calcaires de la Brie et les marnes vertes n'apparaissent qu'au sommet des collines de Montmartre et de Belleville. Les assises du gypse, au contraire, en formation puissante, dont l'épaisseur atteint environ 16 mètres, règnent sur la partie nord et nord-est de la ville. Ces assises sont réparties en quatre masses distinctes, que séparent des bandes de marnes et qui possèdent chacune une physionomie caractéristique. La formation gypseuse a été exploitée dans Paris, et l'on peut dire, d'une manière générale, que les trois premières masses ont à peu près complètement disparu : les vestiges d'anciennes carrières que l'on rencontre à leur em-

placement compliquent singulièrement l'exécution des travaux souterrains.

Les calcaires de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp, placés directement au-dessous des assises du gypse, règnent dans la partie nord-ouest de Paris, et les sables se retrouvent par lambeaux au sud et au sud-est. Le calcaire grossier constitue principalement le sous-sol dans les quartiers sud et sud-ouest ; son épaisseur totale varie entre 30 et 40 mètres. Il comprend trois étages distincts : le calcaire grossier supérieur, formé de marnes et caillasses ; le calcaire grossier moyen, constitué par une pierre à grain fin ; le calcaire grossier inférieur, imprégné de glauconie. Comme le gypse, le calcaire grossier a été exploité autrefois en grand : quelques-unes des anciennes carrières se trouvent dans un remarquable état de conservation, en particulier celles où sont installées les catacombes ; mais un assez grand nombre, ayant subi les atteintes du temps, ont nécessité d'importants travaux de consolidation sur le parcours des lignes métropolitaines.

L'argile plastique n'affleure que sur un espace très restreint, dans le quartier d'Auteuil ; mais on l'a rencontrée en masses puissantes dans les fondations du viaduc de Passy ; comme elle n'offre que peu de consistance, il a fallu la traverser entièrement pour trouver sur les marnes de Meudon un appui suffisant. Quant à la craie blanche, elle n'affleure qu'en un point, à Auteuil; mais on la trouve au Point-du-Jour à peu de profondeur au-dessous du lit de la Seine.

Ces assises géologiques ont opposé au Métropolitain des difficultés plus ou moins grandes. Les sables de Fontainebleau, en général très fins et presque toujours imprégnés d'eau, et les marnes vertes, le plus souvent humides et glissantes, sont des terrains redoutables dans lesquels la construction d'un souterrain à proximité d'immeubles constitue un véritable tour de force. Les calcaires de Saint-Ouen et les sables de Beauchamp offrent au contraire la plus grande sécurité. Il en est de même du gypse et du calcaire grossier, lorsqu'ils sont en place ; mais ce cas est rare à Paris ; ordinairement les bancs ont été excavés, et les anciennes carrières qu'il faut traverser, suivre ou côtoyer, exigent la plus grande attention. L'argile plastique se laisse facilement pénétrer ;

mais son défaut de résistance rend l'établissement des galeries particulièrement délicat. Les alluvions quaternaires, dans la partie basse de Paris, sont des terrains variables, plus ou moins faciles à travailler, selon le grain du sable qui les constitue : en général, elles ne présentent pas trop de difficultés. Mais les risques apparaissent. lorsque les galeries pénètrent dans cette couche de remblais de différents âges qu'ont accumulés, sous le sol des voies publiques, les transformations successives du vieux Paris. Ces remblais, dont l'épaisseur est parfois considérable (10 m. à la place de la Bastille), sont formés de gravats coulants, fréquemment coupés par de vieilles maçonneries, et le concours de ces deux circonstances complique le travail d'une façon pénible.

La ligne nº 1, Porte de Vincennes–Porte Maillot, prend son origine au Cours de Vincennes dans des marnes plus ou moins argileuses et siliceuses qui surmontent immédiatement les sables de Beauchamp. De la place de la Nation à la gare de Lyon, le sous–sol n'est pas stratifié : c'est un mélange de tous les terrains supérieurs au travertin de Saint–Ouen, y compris les sables de Fontainebleau. De la gare de Lyon à l'avenue de l'Alma, sous les Champs–Élysées, la ligne traverse les alluvions de la Seine, surmontées de remblais plus ou moins épais, en effleurant en certains points les marnes du calcaire grossier supérieur. A la place de la Bastille, à l'origine de la rue Saint-Antoine, on a retrouvé dans les remblais les substructions de l'ancienne forteresse. A l'avenue de l'Alma, la ligne pénètre dans les sables de Beauchamp, qu'elle perce sur toute leur hauteur, pour venir se terminer dans le calcaire grossier supérieur à la Porte Maillot.

La ligne Circulaire nº 2 Nord, Porte Dauphine-Place de la Nation (par les boulevards extérieurs de la rive droite) débute dans le calcaire grossier supérieur, qui règne sur toute la longueur de l'avenue Bugeaud. De la place Victor-Hugo à la gare de Courcelles, la ligne se tient sur la limite du calcaire grossier et des sables de Beauchamp ; elle pénètre ensuite dans le travertin de Saint–Ouen qui se perd à la place de Clichy. Entre la place Clichy et la place Blanche, les couches stratifiées sont remplacées par un mélange de tous

les terrains supérieurs y compris les sables de Fontainebleau: la station Place de Clichy est tout entière construite dans ces sables. Le même mélange se rencontre encore entre la rue de Belleville et la rue de Ménilmontant. Entre ces deux poches, et au delà de la seconde jusqu'à la rue d'Avron, la ligne se développe dans les assises du gypse dont la plupart, excavées, sont remplacées par des remblais dont l'épaisseur atteint jusqu'à 28 mètres. De la rue d'Avron à la place de la Nation, les terrains remaniés s'appuient directement sur les sables de Beauchamp.

De la place de l'Étoile à la place du Trocadéro, la ligne Circulaire n° 2 Sud, Etoile–Pont d'Austerlitz (par l'avenue Kléber et les boulevards extérieurs de la rive gauche) passe insensiblement des sables de Beauchamp dans le calcaire grossier. Elle reste dans cette dernière formation jusqu'à la Seine où elle touche au niveau du calcaire grossier inférieur. Les fondations du viaduc de Passy reposent sur les marnes de Meudon, après avoir traversé les alluvions modernes et l'argile plastique. Les viaducs de la rive gauche, du boulevard de Grenelle au boulevard Garibaldi, sont fondés sur les alluvions anciennes. Au boulevard Pasteur, la ligne, redevenant souterraine, pénètre à nouveau dans le calcaire grossier supérieur, qu'elle ne quitte plus jusqu'au boulevard de l'Hôpital, devant la Salpêtrière. Le sommet de la place d'Italie est formé par les sables de Beauchamp. Les fondations du viaduc d'Austerlitz reposent sur le calcaire glauconieux.

La ligne n° 3, Boulevard de Courcelles–Ménilmontant, établie, à son origine, dans le travertin de Saint-Ouen, passe ensuite dans les sables de Beauchamp au droit de la rue de Madrid, et vient effleurer le calcaire grossier à la gare Saint-Lazare, puis, jusqu'à la place de la République, le souterrain se développe dans les alluvions anciennes, surmontées de remblais. A la place de l'Opéra, la ligne se superpose aux lignes n°s 7 et 8 et le croisement s'effectue dans un ouvrage spécial, fondé à grande profondeur ; après les alluvions, ces fondations ont traversé les sables de Beauchamp, puis des marnes bleues, sans atteindre le calcaire grossier dont le niveau est ici exceptionnellement bas. Sous la place de la République, se trouvait un ancien marais profond de deux

à trois mètres, comblé avec des plâtras qui, partiellement réduits par la matière organique, avaient donné naissance à du soufre cristallisé. C'est à l'entrée de ce marais que s'élevait autrefois la porte du Temple, comprise dans l'enceinte de la ville qu'avait établie Charles V (1364-1380) : on en a retrouvé les fondations sur pilotis, admirablement conservées. A partir de la place de la République, la ligne n° 3 plonge dans le calcaire grossier supérieur, en passant sous le canal Saint-Martin, puis elle recoupe les sables de Beauchamp et les alluvions de Seine sous l'avenue de la République, pénètre dans un important dépôt de sable de Fontainebleau près du boulevard de Ménilmontant et s'engage dans les assises du gypse, coupées par les remblais d'anciennes exploitations sous l'avenue Gambetta. Entre la place Martin-Nadaud et le terminus, le gypse dissous par les eaux souterraines fait place à un mélange de tous les terrains voisins, dans lequel dominent les sables de Fontainebleau : la traversée de ces sables très fins, imprégnés d'eau, a opposé des difficultés énormes.

De son point d'origine jusqu'à la rue du Simplon, la ligne n° 4, Porte de Clignancourt-Porte d'Orléans, se construit dans des marnes variées et dans des sables non stratifiés qui représentent les masses du gypse et les terrains supérieurs, y compris les sables de Fontainebleau, remaniés par les eaux. De la rue du Simplon à la rue d'Alsace, elle traverse les assises du gypse coupées par les remblais d'anciennes exploitations, puis suit le travertin de Saint-Ouen qu'elle quitte au carrefour du boulevard de Magenta ; elle pénètre alors dans une dépression, comblée de terres limoneuses qui proviennent des hauteurs de Ménilmontant. Cette poche règne sous le boulevard de Strasbourg jusqu'à la hauteur de la rue du Château-d'Eau. Entre ce point et les Halles, se montrent les alluvions composées de sables et de graviers. La ligne, pour effectuer ensuite sa plongée sous la Seine, pénètre dans le calcaire grossier au carrefour de la rue des Halles et de la rue de Rivoli ; dans cette assise, qu'il a traversé entièrement sur plus de dix mètres de hauteur, se trouve encastré le premier caisson foncé pour la traversée du fleuve. Au delà de la Seine, cette assise se relève de quinze mètres environ au boulevard Saint-Germain, et vient se perdre sous le radier du souterrain, rue

de Rennes, au carrefour du boulevard Raspail. Entre ce carrefour et la Porte d'Orléans, la ligne reste au sommet du calcaire grossier et à la base des sables de Beauchamp, qui sont parfois ravinés et remplacés par des cailloutis quaternaires.

La ligne n° 5, Boulevard de Strasbourg-Pont d'Austerlitz, se développe dans le travertin de Saint-Ouen entre la gare de l'Est et le boulevard de Magenta ; au delà, jusqu'à son terminus, elle traverse les alluvions de la Seine surmontées d'un dépôt marécageux, de trois mètres d'épaisseur environ, que recouvrent des remblais.

A la place de la Nation, la ligne n° 6, Cours de Vincennes-Place d'Italie, est établie dans les marnes bariolées, sableuses, non stratifiées, qui correspondent au travertin de Saint-Ouen disparu. Elle traverse ensuite les sables de Beauchamp, surmontés à la place Daumesnil d'un dépôt caillouteux, ferrugineux, ancienne terrasse de la Seine ; puis elle pénètre dans le calcaire grossier qu'elle quitte à la rue de Charenton pour passer dans les alluvions surmontant immédiatement le calcaire. Sur la rive droite, les viaducs prennent appui soit sur les alluvions, soit sur le calcaire grossier. A la place d'Italie, la ligne redevenue souterraine se trouve à la limite du calcaire et des sables de Beauchamp, surmontés d'un dépôt ferrugineux comme à la place Daumesnil.

Entre la place du Palais-Royal et la rue Le Peletier, la ligne n° 7, Palais-Royal-Place du Danube, se maintient dans les alluvions de la Seine ; elle se développe ensuite dans les sables de Beauchamp et le travertin de Saint-Ouen, de la rue Le Peletier au boulevard de la Villette, traverse toutes les masses du gypse, coupées d'anciennes excavations, jusqu'à la rue de Crimée, et vient se terminer dans les marnes supragypseuses et les remblais à la place du Danube.

L'origine de la ligne n° 8, Auteuil-Opéra, est à la base du calcaire grossier, à la Porte d'Auteuil. De ce point jusqu'à la Seine, elle recoupe l'argile plastique dans toute son épaisseur, puis atteint le niveau des marnes de Meudon et de la craie blanche, à son passage sous le fleuve ; elle se relève à la base de l'argile plastique sur la rive gauche, puis se maintient dans les alluvions sableuses et graveleuses jusqu'au quai d'Orsay. Le

second passage sous la Seine, au droit de la rue de Constantine, s'effectue dans le calcaire grossier supérieur. De la place de la Concorde à l'Opéra, la ligne s'établit à la limite des sables de Beauchamp et des alluvions[1].



L'exécution d'une ligne métropolitaine est toujours précédée de travaux préparatoires : déviations d'égouts, de conduites d'eau, de canalisations diverses, consolidations du sous-sol lorsqu'il est miné par d'anciennes carrières ; il faut faire place nette et laisser le champ libre à la voie ferrée. Pour la construction de la ligne, comme pour les travaux préparatoires, on recourt à l'adjudication publique, qui est imposée par la loi. Chaque ligne est fractionnée en lots, dont la longueur, ordinairement voisine de 1 000 mètres, ne dépasse guère 1 500 mètres pour les parties souterraines, et 900 mètres pour les parties aériennes. Un délai est fixé à chaque entrepreneur pour l'exécution de son lot, et ce délai est habituellement calculé en comptant un mois par cent mètres de souterrain, le total étant majoré de trois mois pour l'organisation des chantiers. Une prime est accordée pour chaque jour gagné sur le délai imparti ; une amende d'égale somme est imposée pour chaque jour de retard. On arrive à une exécution rapide : la ligne n° 1, la première construite, dont la longueur atteint 10^{k},500, a été achevée en dix-sept mois de travail effectif ; la ligne n° 2, d'une longueur de 9^{k},4, a été terminée en dix-huit mois.

Dans chaque lot, il n'y a en général qu'un point d'attaque principal ; mais des points d'attaque secondaires sont en outre autorisés pour l'exécution des stations ou des ouvrages importants. En ces points d'attaque, l'entrepreneur perce des puits verticaux dans lesquels il établit, pour l'enlèvement des déblais et l'amenée des matériaux, des monte-charges qui sont mus par l'électricité. D'une façon générale, c'est à l'énergie électrique que l'on a recours dans tous les chantiers du

1. Nous devons la plupart des renseignements géologiques qui précèdent à l'obligeance de M. A. Dollot, correspondant du Muséum, qui suit la construction des lignes métropolitaines en vue d'une étude du sous-sol parisien.

Métropolitain, pour la production de la force et de la lumière ; l'adoption de cette mesure a puissamment contribué à la réussite et à la rapidité de l'exécution.

Pour l'exécution du souterrain courant, la méthode employée est, presque sans exception, la suivante : construction préalable de la voûte, reprise des piédroits en sous-œuvre, enlèvement du *stross* (noyau de terre central), établissement du radier. Pour les stations, au contraire, ainsi que pour les voûtes des ouvrages spéciaux, dont la portée est supérieure à dix mètres, les piédroits ou culées sont préalablement établis ; on procède ensuite soit à la construction de la voûte, soit à la pose du tablier métallique ; le noyau sous-jacent est vidé souterrainement et l'on finit par la maçonnerie du radier.

La construction des viaducs métalliques débute par l'édification ou la mise en place des appuis, piles en maçonnerie, colonnes en fonte ; les poutres, découpées en tronçons, sont ensuite amenées de l'usine, montées, assemblées et rivées sur des ponts de service provisoires en charpente ; on termine par l'exécution des voûtelettes en briques ou par la mise en place des platelages qui réunissent les entretoises, et par la peinture. Celle-ci comporte, d'une façon générale, deux couches de minium, l'une posée à l'atelier, l'autre posée sur le chantier, et deux couches de peinture ordinaire à base d'oxyde de zinc.

Sur la ligne nº I, Porte de Vincennes-Porte Maillot, la voûte du souterrain ordinaire à deux voies devait, en principe, être construite au moyen du bouclier. Cet engin consiste en une sorte de carapace métallique, qui épouse la forme extérieure du souterrain à construire : à l'abri du bouclier s'exécutent la fouille puis le revêtement maçonné ; des presses hydrauliques, ou vérins, étroitement liées à la carapace et prenant appui à l'arrière sur les cintres du revêtement déjà exécuté, permettent de déplacer progressivement l'engin selon les besoins de l'avancement, sans cesser de soutenir les terres. En deux mots, le bouclier est une matrice servant à découper le terrain et à l'abri de laquelle s'exécute d'une façon continue le revêtement du souterrain à construire. On sait que le bouclier est une invention de l'ingénieur

français Brunel : sa conception géniale contenait le germe de tout ce qui s'est fait depuis lors.

Brunel avait appliqué le bouclier à la construction du tunnel qu'il entreprit en 1825 sous la Tamise à Londres. Quarante ans plus tard, les ingénieurs anglais Barlow et Greathead reprenaient l'idée et l'appliquaient à la construction de revêtements circulaires en fonte ; c'est sous cette forme que M. J.-B. Berlier la vulgarisa en France à partir de 1887. Les boucliers français, appliqués dans ces derniers temps à l'exécution de voûtes en maçonnerie, se rapprochent de la conception primitive. Pour les travaux du Métropolitain, on avait escompté du bouclier de brillants services : exécution rapide de la voûte, maintien des revêtements de la voie publique dans leur état normal. Les résultats n'ont pas répondu à cette attente : les engins, établis d'une façon hâtive et imparfaite, n'ont progressé que lentement et irrégulièrement : même avec les boucliers les mieux construits, le bouleversement des chaussées n'a pas été moindre qu'avec les galeries boisées. Au moment de la construction de la ligne n° 1, à l'approche de l'Exposition Universelle de 1900, le temps était trop strictement mesuré pour souffrir des atermoiements : on a dû passer outre, abandonner les engins et employer d'autres procédés. On a fait récemment de nouvelles tentatives avec un bouclier perfectionné sur un lot de la ligne n° 6 ; elles se poursuivent encore sur un lot de la ligne n° 7, mais ne paraissent pas devoir complètement réhabiliter la méthode ; sur la ligne n° 6, en particulier, le bouclier, après avoir fourni d'assez bonnes courses dans un sol homogène, a dû être abandonné dès qu'il eût pénétré dans les terrains bouleversés.

En résumé, le bouclier se prête à l'exécution d'un souterrain dans un sol vierge, à travers des couches non disparates, ou encore lorsque le souterrain doit recevoir un revêtement robuste comme un tubage métallique ; il n'en est pas de même dans un terrain varié comme l'est le sous-sol parisien ; en de semblables terrains, on est souvent conduit à donner un surcroît de résistance aux maçonneries, soit en modifiant le profil extérieur, soit en augmentant l'épaisseur ; de telles modifications ne sont guère compatibles avec l'emploi du bou-

clier. En fait, pour les lignes construites depuis 1900, sauf l'exception très limitée dont il est question ci-dessus, on a renoncé à cet engin, et l'on est revenu au procédé classique des galeries boisées. Ce n'est que pour l'exécution des travaux de la ligne n° 4, à la traversée de la Seine, — où le souterrain comporte un revêtement métallique et doit être construit entièrement dans la nappe aquifère, par le moyen de l'air comprimé, — que l'on a dû de nouveau utiliser le bouclier.

Pour l'emploi des galeries boisées [1], on commence par percer à la partie supérieure du souterrain une galerie, dite *d'avancement*, en soutenant les terres au moyen de coffrages en planches, que supportent de distance en distance des cadres en charpente. La section de cette première galerie et les dimensions des boisages varient avec la nature des couches traversées; dans les terrains meubles, on diminue la section, on resserre l'intervalle entre les cadres et l'on donne plus d'importance aux coffrages des parois; dans les terrains résistants, où les craintes d'éboulement sont presque nulles, on éloigne les cadres et on réduit le coffrage au ciel (paroi supérieure) de la galerie. Dans les terrains moyens, l'intervalle entre les cadres est ordinairement de 1 m. 50 à 1 m. 60 : deux poteaux légèrement inclinés vers l'axe de la galerie sont réunis en tête par une pièce horizontale appelée chapeau. L'espace libre, à l'intérieur, affecte ainsi une forme trapézoïdale dont les dimensions usuelles sont 2 mètres à 2 m. 10 pour la hauteur, 2 mètres pour la largeur au sol de la galerie et 1 m. 60 pour la largeur au ciel. Les poteaux reposent sur des semelles en bois qui, en répartissant la pression sur une plus grande étendue, s'opposent aux tassements. Ils sont en outre réunis les uns aux autres par des pièces en charpente longitudinales ou disposées en croix de Saint-André, lesquelles donnent à l'ensemble la rigidité. Les planches du coffrage, qui soutiennent les terres, s'appuient sur les cadres. Dans les terrains très résistants, on coffre seulement le ciel de la galerie. Dans les terrains très meubles, le coffrage s'étend aux parois latérales et les planches sont posées jointives; on est même conduit parfois

1. Voir la planche à la fin de la brochure.

à luter les joints, soit avec de la paille soit avec du plâtre, pour s'opposer au coulage des terres et éviter les éboulements ou tout au moins les tassements à la surface du sol.

Quand la galerie d'avancement est exécutée sur une certaine longueur, on procède à la construction de la voûte par *abatage* : on déblaie, on *abat*, les terres de part et d'autre de cette première galerie, suivant le profil extérieur de la voûte, en maintenant les terres au fur et à mesure par le moyen de planches que supportent des longrines disposées parallèlement à l'axe du souterrain et que soutiennent des butons et des contre-fiches prenant appui sur le sol de la galerie élargie. Cette opération se fait ordinairement par tronçons correspondant à l'intervalle de deux cadres, c'est-à-dire sur une longueur de 3 mètres à 3 m. 20. Plusieurs abatages sont entrepris à la fois, mais on a soin de les espacer de façon à ne pas compromettre la stabilité du terrain supérieur. L'abatage terminé, on pose les cintres, en bois ou en fer, qui donneront le profil intérieur de la voûte, et on exécute la maçonnerie de celle-ci en la faisant reposer sur des madriers ou couchis, qui, placés longitudinalement, prennent appui sur les cintres.

La galerie d'avancement est utilisée, pendant la construction de la voûte, tout à la fois pour l'évacuation des déblais et pour l'amenée des matériaux qui entrent dans la confection des maçonneries : il en résulte un encombrement qui se traduit par une perte de temps. Aussi établit-on parfois deux galeries d'avancement superposées, l'une à la partie supérieure du souterrain, l'autre à la partie inférieure, celle-ci précédant celle-là d'une cinquantaine de mètres ; la galerie inférieure est utilisée pour l'évacuation des déblais, la galerie supérieure pour l'amenée des matériaux. Ce procédé, qui n'est applicable que dans des terrains consistants, simplifie beaucoup l'organisation du chantier.

Lorsqu'une certaine longueur de voûte est exécutée, on entreprend la construction des piédroits par reprise en sous-œuvre. Si le terrain est solide, on commence par déblayer presque entièrement le noyau de terre ou *stross*, qui est compris entre la voûte, les piédroits et le radier, puis on achève la fouille du piédroit sur une longueur de 3 à 4 mètres en étrésillonnant au besoin la voûte dans la région qui ne se

trouve plus appuyée ; on coule alors du béton, en le maintenant entre la paroi de la fouille et un coffrage provisoire en planches qui épouse la forme de la paroi intérieure du piédroit, et on l'arase à o m. 50 environ au-dessous du niveau de la retombée de la voûte. Lorsque le béton a fait prise, on achève la construction en comblant avec de la maçonnerie de meulière l'intervalle de o m. 50 laissé libre entre la surface supérieure du béton et la partie inférieure de la voûte. Dans le cas de terrains ébouleux, le procédé est différent : les fouilles de piédroits, limitées à une étendue de 1 mètre à 1 m. 50, sont pratiquées par une succession de saignées latérales, et ce n'est qu'après l'achèvement des piédroits que l'on déblaie le stross.

La voûte et les piédroits étant ainsi construits et le stross déblayé, on passe à la confection très simple du radier : on creuse le sol de la galerie à la profondeur convenable et on remplit la fouille avec du béton, en accusant le profil curviligne de la surface au moyen d'un gabarit. Les enduits se posent après régularisation du parement de façon à faire disparaître les aspérités de la maçonnerie ; ceux de voûte et de piédroits sont attaqués avant l'achèvement du revêtement du souterrain, dès que la longueur exécutée présente un développement suffisant.

Pour les stations et les grandes voûtes de portée supérieure à dix mètres qui se rencontrent à la jonction des souterrains, il est procédé d'une façon analogue. Seulement, on commence par construire les culées ou les piédroits : car il pourrait être dangereux de venir reprendre en sous-œuvre ces grandes voûtes, en raison des fortes charges que leur transmet le terrain supérieur lorsque celui-ci n'est pas très résistant. Les culées et les piédroits s'exécutent dans des galeries boisées auxquelles on donne la largeur et la hauteur nécessaires pour encadrer la maçonnerie. La voûte se construit ensuite de la manière qui vient d'être indiquée.

Le revêtement des stations est fait de petits carreaux biseautés, en grès cérame, recouverts d'émail blanc à la surface. Ces carreaux, dont les dimensions courantes sont o m. 147 × o m. 074 × o m. 0105, s'appliquent directement sur la maçonnerie à laquelle ils sont reliés par du mor-

tier de ciment de Portland; un tenon ménagé sur la face postérieure du carreau assure l'adhérence. Pour les stations Cours de Vincennes et Place de la Nation de la ligne n° 1, qui ont été exécutées à ciel ouvert, il a été fait emploi de briques émaillées; mais l'usage de ces matériaux n'a pas été étendu en raison de leur prix élevé et aussi de l'extrême difficulté qu'on aurait eue à les employer en souterrain. Des revêtements en opaline ont été également exécutés dans quelques stations de la ligne n° 1 ; ils se sont promptement altérés ; on y a renoncé.

Une fois terminées, les maçonneries de la voûte se trouvent, dans la majorité des cas, séparées du terrain environnant par les planches du coffrage primitif, qu'il serait bien difficile d'enlever sans provoquer des éboulements ; derrière ces planches, subsistent toujours des vides, qu'il est nécessaire de combler, et il y a intérêt, d'autre part, à empêcher la pourriture des bois pour éviter des tassements ultérieurs qui se propageraient jusqu'à la chaussée. On parvient à ce double résultat en procédant systématiquement, à des injections de mortier de ciment liquide derrière les maçonneries. Ces injections se font par des trous que l'on ménage dans la voûte au cours de la construction et que l'on garnit de tuyaux en poterie de 0 m. 02 de diamètre; elles s'étendent sur toute la surface des voûtes et jusqu'à 0 m. 50 en dessous des naissances. L'injecteur employé dérive de l'appareil Greathead; c'est une caisse cylindrique en tôle, dans laquelle on introduit du mortier de ciment très liquide; un tuyau flexible réunit la caisse au trou d'injection, et la pénétration du mortier dans les vides et autour des planches du coffrage s'obtient par le moyen d'air comprimé à trois kilogrammes de pression, qu'une pompe refoule dans le réservoir.

Dans les terrains de consistance insuffisante, ou lorsque le souterrain doit supporter des charges exceptionnelles, — au passage sous d'autres galeries, par exemple, — le profil est renforcé. Ailleurs, sur un assez long développement, les souterrains se trouvent placés sous des contre-allées ou de larges trottoirs sablés, plantés d'arbres ; à l'époque des pluies ou pendant la période des arrosages, des infiltrations gênantes se feraient jour à travers les maçonneries, si l'on ne prenait

quelques précautions spéciales. On ménage donc à la surface intérieure des voûtes et des piédroits, de petits conduits circulaires de 0 m. 06 à 0 m. 07 de diamètre, disposés en feuille de fougère et qui viennent déboucher sous le radier : les eaux recueillies par ces conduits se perdent dans le sol sous-jacent ou sont dirigées sur des puits absorbants. L'exécution de ces conduits dans les voûtes se fait facilement en plaçant sur les cintres des torons de paille, qui se trouvent emprisonnés dans la maçonnerie tout en restant apparents sur le développement de l'intrados. Après le décintrement, ces torons sont enlevés et remplacés par des tubes en caoutchouc ou des demi-cylindres en fer-blanc que l'on masque par un enduit en mortier de ciment à prise rapide; il suffit ensuite de retirer le tube pour constituer le conduit.

Les parties du souterrain qui plongent entièrement dans les nappes aquifères, réclament des précautions particulières pour assurer l'étanchéité; on a obtenu de bons résultats du procédé suivant. Les maçonneries sont construites en un seul anneau sur tout le développement de la voûte, des piédroits et du radier. Elles sont faites en deux couches, que sépare une chape intérieure en mortier de ciment de 0 m. 03 d'épaisseur, gâché serré et fortement damé; le ciment employé est du ciment de Portland au dosage de 650 kilogrammes par mètre cube de sable, ou encore du ciment à prise rapide de la Porte de France au dosage de 1 000 kilogrammes par mètre cube de sable. La chape est exécutée avec les plus grandes précautions sans solution de continuité : à chaque reprise, on raccorde avec soin les parties nouvelles aux anciennes, après avoir dégradé et lavé le bord de ces dernières. Dès que la chape est terminée sur la surface d'un anneau, on exécute avec le plus grand soin la seconde couche de maçonnerie. On pose ensuite l'enduit intérieur du souterrain en le lissant fortement. Au passage de la ligne n° 3 sous le canal Saint-Martin, le souterrain est plongé entièrement dans la nappe aquifère sur 76 mètres de longueur, et partiellement sur 340 mètres : il a été exécuté d'après le procédé qui vient d'être indiqué; les infiltrations ne dépassent pas 550 litres en vingt-quatre heures, ce qui correspond au débit extrêmement faible de 0 lit., 0064 par seconde.

Les ouvrages d'accès aux stations, — qui sont exécutés par la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain et à ses frais : escalier partant de la voie publique, salle de distribution des billets, escaliers conduisant aux quais, — n'offrent, dans la construction, aucune particularité qui mérite d'être signalée. Les matériaux sont les mêmes que pour l'infrastructure : il est fait cependant emploi du béton armé, dans certains cas, pour les planchers et la couverture des salles de billets. Pour les revêtements des marches ou du sol dans les couloirs et les salles, on avait eu recours, au début, à la pierre de verre ; mais à l'usage cette pierre de verre est devenue glissante et on a dû y renoncer; la Compagnie fait actuellement l'essai de nouveaux revêtements, couvre-marche Mason, asphalte porphyrique avec armature système Bardot, etc. ; ces deux procédés paraissent devoir obtenir la préférence.

Un des problèmes les plus difficiles dans la construction était l'évacuation des déblais et l'amenée des matériaux. Si l'on songe que l'enlèvement du stross, dans un lot moyen, produit de 800 à 1000 mètres cubes de déblais par vingt-quatre heures, on mesurera la difficulté de transporter un pareil volume de terres par de simples tombereaux, au milieu de la circulation intense de Paris. Aussi a-t-on recherché des moyens d'évacuation plus modernes, plus rapides, moins encombrants et plus économiques. Pour la partie centrale de la ligne nº 1, qui se développe à peu de distance de la Seine, on n'a pas hésité à construire des galeries spéciales, de plusieurs centaines de mètres, qui joignent le souterrain au fleuve et permettent le transport des déblais par eau. Sur d'autres points, on s'est servi avec avantage des voies de tramways qui relient Paris à sa banlieue, quand elles se trouvaient à proximité des chantiers ; un embranchement provisoire, reliant ces voies aux monte-charges des chantiers, a permis d'enlever les terres directement par wagons, sans transbordement. Sur la ligne nº 3, dans les parages de la gare Saint-Lazare, de l'Opéra et de la Bourse, les déblais des lots centraux ont été conduits hors Paris par un raccordement provisoire avec les voies de l'Ouest. Un raccordement semblable avec les voies de l'Est enlève actuellement les déblais de la ligne nº 4, aux

abords des gares du Nord et de l'Est et sous les boulevards de Strasbourg et de Sébastopol. Enfin, pour le lot de la ligne n° 7, qui comprend la place de l'Opéra, il convient de signaler l'utilisation de tracteurs système Purrey : sur les wagonnets, qui servent à les recueillir dans les tranchées, les terres des fouilles sont emmenées par ces tracteurs, lourdes voitures automobiles, qui au retour, ramènent les matériaux des maçonneries.



Les canalisations multiples, que recèle le sous-sol de Paris et qu'il n'est pas toujours possible de faire disparaître, la Seine, les canaux de navigation, les chemins de fer d'intérêt général, enfin les lignes métropolitaines elles-mêmes, aux points de croisement, constituent autant d'obstacles qu'on ne peut souvent tourner qu'au prix de sérieuses difficultés et qui nécessitent des dispositions spéciales dans la construction. Des difficultés d'un autre ordre, et qui ne sont pas toujours les moindres, tiennent encore à la nature des terrains rencontrés. Parmi les divers cas qui se sont présentés, voici quelques exemples caractéristiques.

La ligne n° 1, Porte de Vincennes–Porte Maillot, croise quatre collecteurs importants : boulevard Diderot au carrefour de la rue Crozatier, rue de Lyon à la traversée de l'avenue Ledru-Rollin, rue de Rivoli à la rencontre du boulevard de Sébastopol, et enfin place de la Concorde. Le tracé de la ligne n° 3, Boulevard de Courcelles–Ménilmontant, se heurte au canal Saint-Martin, à la croisée de l'avenue de la République et du boulevard Richard-Lenoir. En ces divers points, le profil des lignes métropolitaines, abaissé, a dû franchir, par-dessous, ces obstacles qu'il était impossible de déplacer.

Sous ces galeries importantes, dont il était essentiel de ne pas compromettre la stabilité, les difficultés ont été accrues par la présence de la nappe aquifère, à une profondeur relativement faible. Au boulevard de Sébastopol, le rail a dû être descendu à 13 m. 70 en contre-bas de la chaussée;

le fond de fouille s'est trouvé à 5 m. 36 au-dessous de la nappe des eaux souterraines. A la rencontre du canal Saint-Martin par la ligne n° 3, le rail a été placé à 19 mètres au-dessous de la chaussée et la fouille est entièrement plongée dans la nappe. Heureusement, les assises du calcaire grossier, qui forment une base solide, suivent d'assez près les alluvions, et le débit des eaux souterraines n'a pas dépassé la puissance des moyens ordinaires d'épuisement. A chaque traversée, un puits foncé à travers les sables et les marnes jusqu'au-dessous du radier du souterrain a permis d'assécher entièrement le terrain dans toute l'étendue des travaux, et des pompes électriques ont suffi à maintenir les eaux en contre-bas des ouvrages pendant toute la durée de la construction. Les maçonneries ont été l'objet de soins spéciaux ; l'épaisseur en a été augmentée, et sur toute la traversée de la nappe on a exécuté la chape dont il a été question ci-dessus; en même temps, on a forcé la proportion de ciment dans le mortier, à raison de 550 kilogrammes par mètre cube de sable.

D'autre part, pendant l'exécution des travaux, le canal Saint-Martin a été tenu à sec; les collecteurs ont été maintenus en service ; mais les maçonneries ont été isolées et le passage des eaux vannes a été assuré, pendant la durée de la construction, par des tuyaux en fer encastrés dans des murs en maçonnerie, qui formaient des barrages provisoires. Les divers ouvrages ainsi franchis n'ont eu à subir aucune avarie; quelques fissures plus ou moins importantes se sont bien manifestées, auxquelles il a été facile de remédier par de simples injections de mortier de ciment sous pression.

La ligne n° 2, Circulaire par les anciens boulevards extérieurs, et la ligne n° 6, Cours de Vincennes – Place d'Italie, traversent la Seine, la première en deux points, à Passy et en amont du pont d'Austerlitz, la seconde en un point, au pont de Bercy. Ces traversées, qui sont aériennes, ont entraîné la construction de viaducs monumentaux.

Le viaduc de Passy occupe l'emplacement de l'ancienne passerelle à piétons, construite en 1878 pour relier le quai de Passy au quai de Grenelle. Dans les plans primitifs, ce viaduc, ne comprenait, outre l'ouvrage destiné au chemin de fer, qu'un

passage pour piétons établi à la hauteur de la voie ferrée. Mais le Conseil municipal, pour améliorer, en ce point, les communications entre les deux rives de la Seine, décida de transformer ce passage pour piétons en une voie charretière. Le viaduc actuel comporte, en conséquence, deux étages : étage inférieur pour la circulation des voitures et des piétons, étage supérieur réservé au chemin de fer. C'est dans l'ensemble la disposition adoptée au Point-du-Jour pour le Chemin de fer de Ceinture, avec une différence capitale : au Point-du-Jour, le viaduc est entièrement construit en maçonnerie; à Passy, toute l'ossature est métallique, et la maçonnerie n'apparaît que dans les piles et les culées.

L'ouvrage traverse la Seine, divisée en deux bras par l'île des Cygnes. Sa longueur totale entre appuis sur chacune des rives est de 237 m. 16. Trois travées, et par conséquent deux piles, sont établies dans chaque bras; sur le grand bras, les travées attenant aux rives ont 29 mètres d'ouverture, la travée centrale, 54 mètres; sur le petit bras, les ouvertures n'atteignent que 23 et 42 mètres. En forme apparente d'arc, les travées, qui comprennent chacune dix fermes, sont construites en *cantilever*, c'est-à-dire constituées de demi-arcs qui s'équilibrent sur chacune des piles en rivière; elles prennent appui sur les culées de rive et sont réunies au milieu de la passe centrale par une petite poutre de jonction. On se rendra compte plus aisément de cette disposition en imaginant deux poutres d'une longueur un peu inférieure à la demi-largeur du fleuve et qui prendraient appui d'un côté sur la rive, de l'autre sur la pile la plus proche : les extrémités en rivière de ces poutres ne se toucheraient pas ; pour établir la continuité du passage, il serait nécessaire de jeter un madrier de l'une à l'autre. Chacune des poutres représente l'ensemble de demi-arcs dont il vient d'être question, et le madrier, la petite poutre de jonction.

Les fermes des ponts en cantilever n'exercent que des pressions verticales sur leurs appuis, tandis que les ponts en arc ordinaires donnent des poussées obliques, qui nécessitent des fondations plus importantes. Il y avait intérêt, à Passy, à restreindre autant que possible les massifs de fondation, en raison de la mauvaise nature du terrain dans le lit de la Seine,

La largeur totale de ce viaduc de Passy, au niveau de l'étage inférieur, atteint 24 m. 70 : un plateau central de 8 m. 70, deux chaussées de 6 mètres placées de part et d'autre, et deux trottoirs de 2 mètres. Au-dessus du plateau central, l'étage supérieur donne passage au chemin de fer ; le tablier, qui le constitue et dont la largeur est de 7 m. 30, est porté par une série de couples de colonnes entre lesquels existe un intervalle de 6 mètres : dans chaque couple, les colonnes sont distantes de 4 m. 40 d'axe en axe. Une disposition ingénieuse a été adoptée pour l'implantation de ces supports. Le viaduc est biais, c'est-à-dire que sa direction générale n'est pas perpendiculaire aux rives de la Seine. D'après les errements usuels, les couples de colonnes auraient été placées parallèlement aux rives et par conséquent suivant une ligne inclinée de moins d'un angle droit sur l'axe longitudinal du pont. On a préféré les implanter normalement à cet axe, de façon à supprimer pour l'œil du passant l'impression du biais.

Les voies charretières de l'étage inférieur présentent une légère pente, qui va du quai de Grenelle vers le quai de Passy ; elles se raccordent directement avec les chaussées de la rive gauche ; sur la rive droite, le raccordement s'opère au moyen de deux plans inclinés ; la hauteur moyenne des voies charretières au-dessus du niveau normal de la Seine est de 8 m. 50. A l'étage supérieur, le tablier du chemin de fer est horizontal, et le rail se trouve placé à 16 mètres environ au-dessus de ce niveau normal du fleuve.

Sur l'île des Cygnes, un ouvrage monumental, en maçonnerie de pierres de taille, sépare les deux séries d'arcs métalliques ; le tablier supérieur prend appui, d'autre part, sur deux piles également en pierre de taille qui surmontent chacune des culées de rive. Les piles en rivière ainsi que les culées de rive droite et de rive gauche ont été fondées à l'air comprimé, et les fondations ont été descendues à travers l'argile plastique jusqu'à la craie de Meudon, que l'on rencontre à 15 mètres environ en contre-bas du niveau du fleuve. L'ouvrage de l'île des Cygnes a été fondé sur pieux à l'abri d'un batardeau. Les échafaudages n'ont été utilisés dans la mise en place des fermes métalliques que pour les travées comprises entre les piles en rivière et la terre; la partie qui couvre la

passe centrale, dans chaque bras, a été montée en porte à faux sans jamais entraver la navigation. Le pont inférieur étant mis en place, on a pu, sans difficulté, opérer le montage du pont supérieur réservé au chemin de fer.

En dehors de la traversée de la Seine, une série de cinq travées, dont l'ouverture varie de 16 m. 03 à 18 m. 38, se développe sur la rive droite, dans la rue Alboni. Sur la rive gauche, après la traversée, le chemin de fer de l'Ouest et le quai de Grenelle sont franchis d'un seul jet au moyen d'une travée encastrée sur ses appuis, dont la portée atteint 55 m. 28 et qui se raccorde sur le boulevard de Grenelle au viaduc du type ordinaire. Ce viaduc de Passy est entièrement construit en acier doux laminé ; le poids total de l'acier entré dans la construction, en y comprenant les travées d'approche de la rue Alboni et de la rive gauche, s'élève à 3 800 tonnes environ. Des bas-reliefs de MM. Coutan et Injalbert ornent les faces amont et aval du massif de l'île des Cygnes. Au-dessus de chaque pile en rivière, les tympans des arcs ont reçu des groupes en fonte de deux personnages, dont la statuaire a été confiée à M. Gustave Michel. Le détail d'architecture est de M. Formigé. Les travaux, commencés dans les premiers jours de mai 1903, ont été terminés le 27 juillet 1905.

L'ancienne passerelle de Passy a été déplacée de 30 mètres vers l'aval au début des travaux, puis remise temporairement en service pour assurer les communications entre les deux rives de la Seine pendant la construction du nouveau viaduc; on procède actuellement à sa démolition. Cette passerelle à déplacer comprenait deux moitiés inégales qui correspondaient aux deux bras de la Seine. Chaque moitié était constituée par trois fermes du type cantilever, mais sans poutre de jonction : celle-ci était remplacée par une simple articulation qui réunissait les extrémités des deux demi-fermes. La passerelle du grand bras mesurait 120 mètres de longueur ; sa largeur était de 6 m. 50, et son poids atteignait 320 tonnes : la passerelle du petit bras avait une longueur de 90 mètres et une largeur de 6 m. 50, avec un poids de 240 tonnes.

La passerelle du grand bras a été déplacée de toutes pièces, par glissement sur des chemins en charpente, que supportaient des files de pieux battus en rivière. Un chemin avait été

établi près de chaque culée ; les deux piles en rivière étaient encadrées, de part et d'autre, par deux installations semblables. La passerelle, munie de chevalets correspondant à ces divers chemins, a été soulevée, puis placée sur rouleaux ; son avancement a été obtenu au moyen de palans, qu'actionnaient des treuils à main susceptibles de développer au total une force de 4800 kilogrammes. Quatre hommes à chaque treuil ont suffi pour mettre la masse en mouvement, et le transfert s'est effectué en quatre heures sans le moindre à-coup et sans que la navigation ait été interrompue ni gênée.

Sur le petit bras, où la circulation des bateaux est peu importante, on a opéré successivement sur les deux tronçons de la passerelle, après démontage de l'articulation de clef. Les deux tronçons ont été soulevés l'un après l'autre, au moyen de deux chalands convenablement délestés, que l'on a laissés ensuite dériver au fil de l'eau et qui ont été lestés à nouveau lorsqu'ils sont parvenus à l'emplacement final. Chacun des chalands mesurait 30 mètres de longueur et pouvait supporter 280 tonnes à pleine charge. Bien que contrariée par un vent violent, l'opération n'a duré qu'une heure un quart.

Le viaduc d'Austerlitz, uniquement destiné au passage des trains, franchit la Seine d'un seul jet, à 200 mètres environ en amont du pont du même nom qui réunit le boulevard de l'Hôpital, sur la rive droite, à la place Mazas sur la rive gauche. Sa longueur totale entre appuis sur chacune des rives atteint 140 mètres. C'est à Paris, le plus long des ponts à une seule travée : le pont Alexandre III, qui, avant lui, détenait le « record » de la portée, mesure 117 mètres. Deux arcs en acier le constituent, distants de 7 m. 80 d'axe en axe, auxquels se trouve suspendu le tablier portant les voies métropolitaines. Ces arcs sont à triple articulation, comme ceux du pont Alexandre III ; mais au pont Alexandre III, les articulations sont placées à la clef, c'est-à-dire au sommet de l'arc, et aux retombées, c'est-à-dire aux points d'appui sur les culées; au viaduc d'Austerlitz, elles ont été ménagées à la clef et aux reins, c'est-à-dire au sommet et au quart environ du développement du demi-arc en partant du point le plus bas. Le tablier coupe le plan des arcs à peu près à la hauteur de ces

dernières articulations. Le tronçon d'arc situé au-dessous du tablier et la portion correspondante de ce dernier, fortement ancrés dans les culées, constituent en réalité deux consoles sur l'extrémité desquelles viennent s'appuyer les parties centrales des deux fermes. Cette disposition a permis de réduire à 107 m. 20 la portée effective des arcs et de diminuer en conséquence leur montée, au grand avantage de l'élégance, sans pour cela augmenter d'une façon notable la poussée sur les massifs de fondation.

La flèche des arcs du viaduc d'Austerlitz, comptée au-dessus de la ligne des appuis sur culées, atteint 20 mètres, ce qui place la clef à 25 mètres environ au-dessus du niveau moyen de la Seine. Le tablier du chemin de fer, large de 8 m. 50 entre garde-corps, est suspendu aux arcs, dans la partie centrale, par seize montants verticaux, et porté dans l'étendue des consoles latérales, par quatre autres montants : il se trouve situé à 12 mètres environ du niveau de navigation. Les culées sur chaque rive ont été fondées à l'air comprimé; les massifs de fondation ont été descendus sur le calcaire grossier inférieur, à 10 mètres environ au-dessous du niveau du fleuve, sur la rive droite, et à 11 mètres environ sur la rive gauche. Pour équilibrer la poussée, il a fallu donner à ces massifs des dimensions assez fortes : 22 mètres de longueur sur 18 mètres de largeur. Au-dessus, ont été établies les culées, qui sont en pierre de taille, flanquées chacune de deux pylônes dont la hauteur atteint 15 mètres.

Pour le montage de la partie métallique de ce viaduc, un pont de service en charpente avait été installé sur des pieux en rivière. On a mis en place tout d'abord les retombées formant consoles, puis on a procédé à l'assemblage et à la rivure du tablier et des montants de suspension ; ceux-ci, convenablement consolidés, ont servi ensuite à supporter les tronçons des deux arcs au fur et à mesure de leur avancement, jusqu'au clavage définitif. Le viaduc d'Austerlitz est entièrement exécuté en acier doux laminé ; la construction a absorbé un poids d'environ 1 000 tonnes de métal. Le massif de pierre de chaque culée mesure en nombre rond 1900 mètres cubes. Les travaux, commencés au début de novembre 1903, ont été terminés le 22 décembre 1904.

Les rotules des articulations et les retombées des arcs ont reçu une ornementation qui est de M. Formigé, ainsi que l'architecture des culées.

A la sortie du viaduc d'Austerlitz sur la rive droite, et avant de redevenir souterraine, la ligne métropolitaine traverse le bas port de Bercy, suivant une courbe de 75 mètres de rayon, en pente continue de 0 m. 040 par mètre. La voie, dans la majeure partie de ce développement, est portée par deux travées métalliques dont les dispositions sont entièrement nouvelles. Jusqu'ici, pour le passage d'une voie ferrée en courbe sur un viaduc métallique, on plaçait les poutres de rive des travées suivant un contour polygonal qui suivait, d'aussi près que possible, les positions successives occupées par le matériel roulant dans son mouvement sur la courbe : cette solution ne conduit pas toujours à une disposition très élégante. Pour les deux travées du bas port de Bercy, on a imaginé un développement courbe, parallèle à l'enveloppe du gabarit du matériel roulant. Les deux travées, dont la longueur totale dépasse 70 mètres, ont donc, grâce à la courbure et à la pente, leurs poutres de rive établies suivant une surface hélicoïdale qui rappelle celle des limons des escaliers en vis. C'est le premier exemple d'un pont de ce genre, et l'aspect en est particulièrement heureux. Toutefois, ce type d'ouvrage entraîne des complications considérables qui n'ont pu être surmontées que grâce à l'extrême habileté des constructeurs qui l'ont imaginé ; il entraîne aussi une augmentation appréciable du poids du métal. Pour ces deux motifs, il paraît ne convenir que si l'on doit tout sacrifier aux considérations esthétiques.

La traversée de la Seine par la ligne n° 6, Cours de Vincennes-Place d'Italie, s'effectue sur un viaduc superposé au pont de Bercy, lequel relie le boulevard de la Gare, sur la rive droite, à la rue de Bercy sur la rive gauche. Ce viaduc est constitué par deux murs en pierre de taille, distants de 6 mètres d'axe en axe, percés régulièrement d'arcades en plein cintre de 3 m. 20 d'ouverture, et réunis à leur partie supérieure par un plancher métallique, qui porte les voies. En élévation, l'ensemble présente un aspect analogue à celui du viaduc du Point-du-Jour.

Le pont de Bercy n'offrait qu'une largeur de 19 mètres entre garde-corps; on ne pouvait donc songer à lui superposer, sans élargissement, le viaduc du Métropolitain, dont l'encombrement au niveau du sol atteint 7 m. 60. En outre, le rail de la voie, qui est placé à 14 m. 95 au-dessus du niveau moyen de la Seine, n'est distant du pavé de la chaussée que de 5 m. 22; cette hauteur est un peu faible pour le passage de la circulation ordinaire. Dans ces conditions, on a rejeté le tracé du Métropolitain sur l'un des côtés du pont : laissant libre la chaussée actuelle, on a reporté tout l'élargissement sur la face amont. Le Service de la Navigation de la Seine a, pour le compte de la Ville, renforcé les voûtes, dans la partie où elles ont à supporter les piliers du viaduc, et les a prolongées de 5 m. 50 vers l'amont; dans toute cette zone, leur épaisseur à la clef a été portée de 0 m. 89 à 1 m. 20. La partie élargie a été exécutée suivant le type de l'ouvrage ancien, avec des matériaux de même nature, de façon à ne pas modifier le caractère de l'ouvrage. Les prolongements des piles ont été établis sur des massifs fondés à l'air comprimé, suivant le procédé qui avait été employé déjà avec succès pour l'élargissement du pont d'Austerlitz; les prolongements des culées de rive ont été fondés sur pilotis. L'allongement des piles et des culées a été suivi de l'exécution des voûtes nouvelles, construites sur cintre, à la manière habituelle. Après cet élargissement du pont, on a entrepris les travaux du viaduc; ils sont actuellement en cours.

Deux autres lignes métropolitaines traversent encore la Seine : la ligne n° 4, Porte de Clignancourt–Porte d'Orléans, à la Cité; et la ligne n° 8, Auteuil-Opéra par Grenelle, une première fois à l'aval du pont Mirabeau, une seconde fois entre le pont de la Concorde et le pont des Invalides. Mais ici les traversées sont souterraines; le passage s'effectue au-dessous du lit du fleuve. Pour la ligne n° 8, les conditions ne sont pas encore complètement déterminées; les travaux de la ligne n° 4, au contraire, viennent d'entrer dans la période d'exécution.

Cette ligne n° 4 devait primitivement franchir la Seine à l'extrémité de la rue du Louvre, immédiatement à l'aval de

l'écluse de la Monnaie; elle s'engageait ensuite sous le quai Conti, puis sous une annexe de l'Institut, et de là gagnait la place Saint-Germain-des-Prés par la rue de Rennes prolongée. On allait entreprendre les travaux, lorsque l'Institut, redoutant pour le Palais Mazarin les conséquences de ce voisinage, fit une opposition formelle que rien ne put réduire : force fut de modifier le projet. Après quelques hésitations, le Conseil municipal se prononça pour une oblique vers la Cité, en empruntant la rue des Halles, la rue Saint-Denis et la place du Châtelet, puis en franchissant le grand bras de la Seine à l'amont du pont au Change, en se développant ensuite sous le Marché aux Fleurs et les bâtiments de la caserne de la Cité, puis en passant sous le petit bras de la Seine, en amont du pont Saint-Michel, et en gagnant, de là, la rue de Rennes par la place Saint-Michel, la rue Danton et le boulevard Saint-Germain.

Le tracé nouveau traverse la nappe aquifère à partir du carrefour de la rue des Halles et de la rue Saint-Denis, sur la rive droite, jusqu'au carrefour de la rue Danton et du boulevard Saint-Germain sur la rive gauche. Outre les deux traversées souterraines du fleuve, il comporte un passage sous la ligne métropolitaine n° 1 à la rue de Rivoli, et un passage sous les voies ferrées de la Compagnie d'Orléans, à l'amont du pont Saint-Michel. Ajoutez encore que deux stations à grande profondeur doivent être établies, l'une au Marché aux Fleurs, l'autre à la place Saint-Michel.

Les ouvrages auront un développement total de près de onze cents mètres, sur lequel les difficultés surgissent pour ainsi dire à chaque pas. Aussi, avant d'arrêter les bases d'exécution, la Ville a-t-elle invité les constructeurs à étudier, de concert avec ses services et conseils techniques, la solution de ce problème ardu. A la suite de cette consultation, il a été décidé que tous les souterrains, y compris les stations, recevraient un revêtement en fonte; que la double traversée du fleuve, dans les deux bras, s'opérerait par fonçage vertical à l'instar des piles de pont; qu'il en serait de même des stations; que partout ailleurs, le souterrain serait exécuté par cheminement horizontal au moyen du bouclier. Il a été reconnu possible de maintenir les deux voies dans une galerie

unique dont le profil ne s'écarte pas du type usuel, — sauf pour les stations. La jonction entre le souterrain et les stations s'opérera par le moyen de puits verticaux à section elliptique, qui seront utilisés ultérieurement par les escaliers et ascenseurs permettant l'accès aux quais. Au passage sous les voies de la Compagnie d'Orléans, immédiatement à l'amont du pont Saint-Michel, on aura recours, pour plus de sûreté, à la congélation : le sous-sol imbibé d'eau sera préalablement congelé; la construction de la ligne métropolitaine s'effectuera ainsi en terrain solide.

Pour la double traversée du fleuve, un premier chantier a été ouvert l'été dernier; le fonçage des puits des stations vient d'être entrepris tout récemment à la place Saint-Michel. Pour la traversée du fleuve, le procédé, très simple en théorie, consiste à bâtir un tronçon de souterrain et à l'enfoncer progressivement dans le lit de la rivière jusqu'au niveau voulu. On construit d'abord une carcasse métallique, qui est destinée, d'une part, à soutenir le cuvelage en fonte qui formera la paroi interne du souterrain; d'autre part, à contenir un anneau de béton qui renforcera le cuvelage en arrière. On fixe cette carcasse sur le plafond d'une chambre de travail, sorte de caisse sans fond dans laquelle s'opérera le travail de déblai. L'ensemble, formant caisson, est amené à la place du futur souterrain ; on procède à la pose du cuvelage en fonte, en même temps qu'on exécute le remplissage en béton; puis, au-dessus d'ouvertures ménagées à cet effet dans le plafond de la chambre de travail, on installe les cheminées surmontées de sas à air au moyen desquelles il sera possible d'accéder à cette chambre pour enlever les déblais et amener les matériaux. Ces préparatifs terminés, le caisson convenablement lesté est échoué sur le fond de la rivière; le lestage a été obtenu simplement en remplissant d'eau la cavité correspondant au vide du souterrain. On insuffle alors de l'air comprimé par les cheminées, de façon à chasser l'eau de la chambre de travail, et on fait descendre dans cette chambre les ouvriers « tubistes », qui doivent exécuter le déblai. Il est aisé de comprendre qu'en creusant le sol à l'emplacement du caisson, celui-ci, sous l'influence de son propre poids, s'enfonce progressivement; la descente est d'ailleurs facilitée par la forme

en lame de couteau, qui, donnée aux parois de la chambre de travail, leur permet de pénétrer plus commodément dans le terrain. Le caisson étant descendu au niveau fixé, on remplit de béton la chambre de travail, on démonte les cheminées et on fait obturer par des scaphandriers l'ouverture pratiquée dans le ciel du souterrain pour le passage de celles-ci : il ne reste plus qu'à pomper l'eau de lestage pour terminer l'opération.

Ce travail de fonçage à l'air comprimé est entré dans la pratique courante des chantiers; il ne présente guère d'aléas, s'il est conduit méthodiquement et prudemment. Mais on ne pourrait exécuter la traversée d'un bras de la Seine tout entier, au moyen d'un caisson unique. Pour le grand bras, on emploiera trois caissons de 9 m. 60 de largeur et 9 m. 05 de hauteur, dont les longueurs atteindront respectivement 36 mètres, 38 m. 40 et 43 m. 20; pour le petit bras, deux caissons, de 19 m. 80 de longueur. Ces caissons sont montés près du pont Solférino, — il n'a pas été possible de trouver un emplacement plus proche ; — ils sont ensuite amenés par flottage sur le chantier; à cet effet, un doublage en tôle étanche assure leur insubmersibilité. Près du Châtelet, le premier caisson du grand bras, — celui qui touche le mur de quai de rive droite, — a déjà atteint sous le fleuve son niveau définitif, qui est tel que le rail se trouve placé à 11 m. 15, et l'extrados de la voûte à 5 m. 62 en contre-bas du plan d'eau normal de la Seine. Le fonçage des autres caissons sera poursuivi à la fin des crues d'hiver.

Quelles que soient les précautions prises, il n'est pas possible d'éviter de légères déviations en plan au cours de la descente : on ne pouvait donc songer à foncer les caissons immédiatement à la suite les uns des autres, de façon à obtenir leur juxtaposition; en fait, ces caissons se trouveront séparés par un intervalle d'environ 1 m. 50, de telle sorte qu'après l'achèvement du fonçage il restera à raccorder entre eux les divers tronçons du souterrain. Le joint s'exécutera au moyen de caissons amovibles. On commencera par construire de cette manière, sur les flancs de deux tronçons consécutifs, deux murs jointifs en béton, qui iront de l'un à l'autre, à l'extérieur, bouchant ainsi latéralement l'intervalle de 1 m. 50 qui les sépare; ces murs seront arasés au niveau d'une plate-

forme horizontale qui surmonte, sur une faible longueur, les extrémités des caissons du souterrain. On obtiendra de la sorte une surface d'appui, en forme de rectangle évidé, sur laquelle on viendra appliquer un troisième caisson amovible, et c'est à l'abri de ce dernier que la partie du souterrain correspondant à l'intervalle du joint sera exécutée, et la continuité rétablie.

Le cuvelage en fonte employé pour le revêtement du souterrain est constitué par une série d'anneaux de 0 m. 60 de longueur, formés eux-mêmes par treize voussoirs dont le développement suivant l'arc de douelle mesure 1 m. 82, excepté à la clef où il n'atteint que 0 m. 50. Ces voussoirs ont 0 m. 04 d'épaisseur, et ils sont renforcés, sur leur pourtour, par des nervures de 0 m. 12 de hauteur formant brides pour l'assemblage, lequel est obtenu par le moyen de boulons. Les joints entre les voussoirs ont 0 m. 005 d'épaisseur : ils sont obturés par des lamelles de bois créosoté. L'intervalle entre les nervures est comblé par un remplissage en béton, sur lequel on vient appliquer un enduit en ciment de 0 m. 03 d'épaisseur. La carcasse qui supporte ce revêtement se compose de fermes espacées de 1 m. 20 et reliées entre elles par des poutrelles longitudinales; le tout est noyé dans du béton dont l'épaisseur atteint 0 m. 71 à la clef et 0 m. 96 aux naissances.

La ligne Circulaire n° 2 Sud passe sous la ligne de Paris à Sceaux, à la place Denfert-Rochereau. La traversée était déjà rendue difficile par le mouvement important des trains sur cette ligne de banlieue; elles ont été aggravées par des circonstances diverses. Au point de croisement, correspond une station de la ligne de Sceaux qui est constituée par une tranchée recouverte d'un plancher métallique. Le sous-sol est miné par des galeries et des éboulis d'anciennes carrières, et la Compagnie d'Orléans, pour l'établissement de sa station, avait dû exécuter des travaux de consolidation importants. Entre la voûte du Métropolitain et le radier de la station, règne un égout nécessaire au chemin de fer de Sceaux. Enfin, à proximité immédiate, se rencontre un groupe des plus importantes canalisations d'eau qui desservent Paris, et dont il ne pouvait être question de suspendre le service.

Toutes ces difficultés, accumulées sur un espace restreint, ont été surmontées de la façon suivante. En premier lieu, on a repris en sous-œuvre les fondations des colonnes qui supportent la couverture métallique de la station sur la ligne de banlieue et on les a descendues jusqu'au niveau du radier du Métropolitain. On a construit ensuite les piédroits du souterrain métropolitain. L'épaisseur de ces piédroits a été portée de 0 m. 75 à 2 mètres et chacun d'eux a été exécuté au moyen de galeries superposées de 2 m. 40 de hauteur, au nombre de trois à la traversée des voies de la ligne de Sceaux et de quatre à la rencontre des murs de la station. Les galeries, entreprises par étage, ont été attaquées par les deux extrémités du souterrain, l'une pour le piédroit de droite, l'autre pour le piédroit de gauche; elles étaient maçonnées provisoirement sur leur pourtour seulement, de façon à réserver un passage pour l'évacuation des déblais et l'amenée des matériaux, puis remplies en maçonnerie lorsque leur service devenait inutile. Les piédroits terminés, on a entrepris la construction de la voûte par abatages, selon le procédé ordinaire; mais pour éviter tout tassement, on a substitué au bois, pour le blindage du ciel de la fouille, des plaques de tôle de 0 m. 018 d'épaisseur et 0 m. 20 de largeur, qui ont été enrobées ensuite dans un coulis de mortier de ciment, injecté par des trous réservés dans la maçonnerie. Les fondations des colonnes de la station ont été en même temps incorporées à la voûte à laquelle elles ont été reliées par des fers à plancher de 0 m. 16 de hauteur. La voûte une fois construite, on a déblayé le stross, rescindé les massifs de béton qui formaient les reprises en sous-œuvre des colonnes de la station, et exécuté le radier. Pour les ouvrages de la ligne de Paris à Sceaux et à Limours, on n'avait pris d'autres précautions que de placer les voies sur de fortes longrines en chêne dont la longueur surpassait légèrement celle de la traversée. Les seuls désordres occasionnés ont été quelques fissures dans les murs latéraux : ces fissures ont été bouchées par des injections de mortier de ciment.

Dans les plans primitifs, la ligne Circulaire n° 2 Sud, venant de la place d'Italie, contournait en viaduc la gare et les

bâtiments de la Compagnie d'Orléans, situés en bordure du boulevard de l'Hôpital et de la place Valhubert, puis gagnait le quai d'Austerlitz et de là franchissait la Seine. Mais, sur la proposition de la Compagnie d'Orléans, ce tracé a été modifié : la ligne aérienne s'infléchissant à partir de la place de la Salpêtrière, pénètre sur les dépendances de la gare d'Austerlitz et en traverse le grand hall pour parvenir au fleuve. Une station métropolitaine, établie à l'intérieur du hall, est constituée par une double travée de 52 m. 55 de portée et de 17 m. 10 de largeur totale, qui franchit d'un seul jet les voies de l'Orléans; les poutres de rive mesurent 6 m. 45 de hauteur; la distance de rail à rail entre les deux voies ferrées reste supérieure à 6 m. 11. La double travée repose à chacune de ses extrémités sur une file de trois piliers, qui sont composés d'un caisson en acier laminé, rempli de béton de ciment. La construction de la ligne métropolitaine a nécessité la démolition, sur une largeur d'environ 20 mètres, des murs de façade de la gare, ainsi que des piliers qui supportaient, sur cette longueur, les fermes de la couverture du hall, dont la portée atteint 52 m. 55. Des étais provisoires en charpente ont maintenu ces fermes pendant la construction des appuis du Métropolitain.

De sérieuses difficultés venaient, tant de la nature du sous-sol constitué par les alluvions de la Seine et de la Bièvre, lesquelles surmontent le calcaire grossier, que de la proximité des fondations de la gare, établies sur ce terrain tourbeux et marneux. La charge des piliers de la station métropolitaine pouvant atteindre 800 tonnes, il a fallu descendre les fondations sur le calcaire grossier à 12 mètres environ au-dessous du niveau des quais de la gare. Cette opération, contrariée par d'abondantes infiltrations, a nécessité l'installation de cinq pompes centrifuges, actionnées par deux locomobiles de 30 chevaux. Elle a pu néanmoins être menée à bien sans autres dégâts que quelques fissures et quelques tassements dans les bâtiments de la Compagnie d'Orléans.

La ligne n° 3 croise à la place de l'Opéra, en s'y superpo-

sant, deux autres lignes métropolitaines : la ligne n° 7, Palais-Royal–Place du Danube, et la ligne n° 8, Auteuil-Opéra par Grenelle. La ligne n° 3 devant être construite la première, il était nécessaire d'exécuter en même temps les ouvrages des deux autres lignes, afin d'éviter plus tard une reprise en sous-œuvre sous des lignes en exploitation. Le rail de la ligne n° 7 devait se trouver, au point de croisement, à 11 mètres environ au-dessous du sol, et celui de la ligne n° 8 à plus de 16 mètres; les maçonneries communes aux ouvrages des trois lignes devaient donc être descendues à 20 mètres de profondeur et plonger de 9 mètres dans la nappe aquifère. Il fallut recourir à l'air comprimé pour la fondation de l'ouvrage. Les points d'appui ont été formés par trois caissons, l'un de 8 m. 25 sur 6 mètres, le second de 19 m. 50 sur 8 mètres, le troisième de 24 m. 50 sur 8 mètres.

Le premier caisson, dont l'emplacement est situé sous la place de l'Opéra, supporte les piédroits des lignes n°s 3 et 7 à leur premier point de rencontre; les deux derniers, placés parallèlement à l'axe du boulevard des Capucines, encadrent le souterrain de la ligne n° 8 et supportent les ouvrages des lignes n°s 3 et 7. La mise en place et le fonçage de ces caissons ont présenté quelques difficultés en raison de leur emplacement à un carrefour où la circulation des plus intenses devait être maintenue à tout prix. Commencé le 9 mai 1903 pour le premier caisson, le 19 juin pour le troisième et le 31 juillet pour le second, le fonçage était terminé sans incident le 31 août. L'achèvement des maçonneries de la ligne n° 3, la pose du tablier métallique sur lequel elle franchit la ligne n° 7 et enfin la mise en place de la couverture métallique à la surface du sol, au-dessus de l'ouvrage commun, ont été ensuite entrepris et la circulation a pu être rétablie définitivement le 27 décembre 1903, neuf mois après l'ouverture du chantier.



Reste à dire quelques mots des difficultés occasionnées par la nature du sous-sol ; nous nous bornerons à deux

exemples empruntés, l'un à la ligne n° 2 Sud, dans la zone des anciennes carrières, l'autre à la ligne n° 3, à Ménilmontant.

La ligne n° 2 Sud, qui pénètre dans l'étage du calcaire grossier au boulevard Pasteur, traverse, sur le tiers environ de son étendue, la zone des carrières à deux et même trois étages de galeries. Sur ce parcours, les ouvrages se tiennent à une distance variant de 1 à 15 mètres des ciels de carrière. Lorsque les ciels de carrière ont été trouvés en bon état, on s'est borné à les soutenir par des piliers en maçonnerie. Mais, sur des longueurs assez grandes, les recherches ont fait découvrir des dislocations dans les couches situées au-dessus des anciennes excavations; le ciel de carrière s'était affaissé, et l'éboulement, se propageant peu à peu, avait donné naissance à ces cavités en forme de cloches, que l'on désigne communément sous le nom de « fontis ». Une de ces cloches, au boulevard de Vaugirard, près de l'avenue du Maine, avait une section de 70 mètres carrés à la base, et sa hauteur dépassait 13 mètres, ce qui correspond à un volume de 660 mètres cubes.

Fort heureusement, des fontis de cette importance sont tout à fait exceptionnels. Lorsque l'effondrement ne dépassait pas une dizaine de mètres carrés, on s'est borné à circonscrire l'éboulement en l'entourant d'un mur en maçonnerie et, pour les ouvrages du Métropolitain, à renforcer les piédroits et le radier en interposant quelques fers dans la maçonnerie, ou encore à appareiller le radier en voûte. Pour un affaissement plus accentué, on a fait reposer les ouvrages sur un véritable viaduc souterrain : une série d'arcs de décharge sont supportés par des piliers en béton de 1 m. 20 de diamètre qui prennent appui sur le sol de carrière. Enfin, lorsque les dislocations étaient plus considérables et qu'il y avait lieu de craindre pour la stabilité du souterrain, on augmentait l'épaisseur des parois et on les soutenait de place en place par des contreforts prenant appui sur des colonnes de béton qui reposent elles-mêmes sur le sol de carrière.

Ce dernier cas s'est présenté sous le boulevard Raspail, au

carrefour de la rue Victor-Considérant : sur 27 mètres de longueur, il a fallu porter de 0 m. 75 à 1 m. 15 l'épaisseur de la voûte, augmenter l'épaisseur des piédroits et les faire reposer sur une double rangée de piliers en béton par l'intermédiaire d'arcs de décharge, enfin armer la paroi de contreforts dont la largeur atteint 3 m. 15 ; en même temps, on soutenait le radier en son milieu par une nouvelle série de piliers, de telle sorte qu'en ce point le souterrain est un gigantesque tube de maçonnerie supporté par cinq files de colonnes. Une grande partie de ces consolidations avaient été effectuées à l'avance par le Service de l'Inspection des carrières, qui a d'ailleurs suivi pas à pas la construction ; mais un bon nombre des puits destinés à recevoir les piliers en béton ont dû être forés puis remplis, en partant des galeries métropolitaines, au fur et à mesure de l'exécution des ouvrages : un semblable travail n'a pu être mené à bien, sans accident, qu'au prix de l'attention la plus soutenue.

Sous l'avenue Gambetta et sous la rue Belgrand, au delà de la place Martin-Nadaud, le gypse entraîné par les eaux souterraines se trouve remplacé par un mélange de toutes les couches voisines, dans lequel dominent par place les sables de Fontainebleau : c'est dans ce terrain qu'il a fallu installer le terminus de la ligne n° 3, Boulevard de Courcelles-Ménilmontant. Les marnes gypseuses, plus ou moins corrodées à la surface, forment le fond d'une cuvette qui est remplie soit de terres argileuses, soit de sable fin, le tout imprégné d'eau ; les argiles dominent sous l'avenue Gambetta, les sables sous la rue Belgrand. Ajoutez le voisinage immédiat d'immeubles dont les fondations n'avaient pas été préparées en vue de cette éventualité. Les sables fins imprégnés d'eau forment une sorte de fluide inconsistant.

On a dû en attaquer d'abord les piédroits en conduisant le travail de façon à parvenir à l'assèchement de ces « sables boulants ». A cet effet, des puits très multipliés ont été foncés de proche en proche avec les plus grandes précautions et pourvus de moyens d'épuisement permanents. Ces puits ont

été descendus à travers toute l'épaisseur du sable jusqu'aux marnes sous-jacentes où l'on a pu s'enraciner avec une sécurité suffisante ; leur action progressive a permis de transformer le sable fluide en une masse assez solide pour permettre la construction des ouvrages. La plus grande partie de ces puits ayant été établis sur le développement des piédroits, il a suffi de les combler avec du béton pour constituer les parois du souterrain, mais, à la partie inférieure, on a eu soin de disposer au préalable un drain longitudinal qui conduit les eaux à un puisard d'extrémité, lequel avait été foncé à l'air comprimé : là, elles sont recueillies et rejetées à l'égout public. On est ainsi parvenu, au milieu de mille difficultés, à dessécher suffisamment le terrain pour que la voûte et le radier du souterrain aient pu, ensuite, être aisément exécutés.



Pour préciser l'importance de l'œuvre qui se poursuit actuellement à Paris, il faut savoir que la construction des lignes métropolitaines exigera l'extraction d'un volume de déblais qui peut être évalué à près de 5 millions de mètres cubes, l'exécution de 2 200 000 mètres cubes de maçonnerie et l'emploi de 67 000 tonnes de métal : fonte, acier laminé, acier coulé. Si les déblais du Métropolitain étaient entassés sur la place de la Concorde, entre la Seine et les palais de Gabriel d'une part, entre la grille des Tuileries et les chevaux de Marly d'autre part, la hauteur du remblai dépasserait 70 mètres : dans cette colline, les tours de Notre-Dame disparaîtraient sous une couche de 3 mètres d'épaisseur. La maçonnerie, répartie uniformément sur le même emplacement, atteindrait une hauteur de plus de trente mètres, supérieure de près de trois mètres à celle de l'obélisque. Quant au métal, il permettrait, transformé en rails du Métropolitain, d'exécuter à double voie une ligne de 310 kilomètres environ, soit la distance de Paris à Bruxelles.

L'effectif des ouvriers employés dans les travaux d'infrastructure varie suivant le nombre et l'importance des chantiers. A titre d'indication, voici le détail des ouvriers occupés

en 1905 à la construction des lignes n° 2 Sud, n° 4, n° 5, n° 6 et n° 7.

Professions	Nombre des ouvriers occupés en 1905			
	1er trimestre	2e trimestre	3e trimestre	4e trimestre
Chefs ouvriers	109	118	125	119
Mineurs et terrassiers	1 442	1 382	1 586	1 964
Maçons et limousins	228	328	200	199
Manœuvres	624	795	919	568
Ouvriers en fer, mécaniciens, électriciens	207	167	134	208
Ouvriers en bois	47	59	71	51
Gardiens de chantiers	28	43	25	18
Divers	128	96	177	179
	2 813	2 988	3 237	3 306

Voici, d'autre part, le personnel ouvrier que l'Administration a employé pendant la même période, et qui comprend des surveillants de travaux et des porte-mires :

	1er trimestre	2e trimestre	3e trimestre	4e trimestre
Surveillants	106	111	125	125
Porte-mires	13	14	21	21

L'infrastructure de l'une des fractions étant terminée, remise en est faite par la Ville à la Compagnie du Chemin de fer Métropolitain, qui est chargée, aux termes de son contrat, des travaux de superstructure et de l'exploitation ; un délai de dix mois est imparti à la Compagnie pour exécuter ses travaux et mettre en service la fraction qui lui est ainsi livrée. Par « fraction », il faut entendre non pas un tronçon plus ou moins étendu d'une ligne métropolitaine, mais bien une portion déterminée du réseau, dont l'importance et l'ordre d'exécution sont réglés par les actes de concession : la quatrième fraction, par exemple, se trouve formée de la partie de la ligne n° 4, qui est comprise entre la porte de Clignancourt et le boulevard de Strasbourg, et de la ligne n° 5 dans sa totalité. La Compagnie n'est tenue de prendre livraison des diverses fractions qu'autant qu'elles sont complètes, et seulement dans

l'ordre de classement fixé par la convention de concession. La Ville, de son côté, doit respecter cet ordre dans la construction de l'infrastructure : il lui est loisible, toutefois, d'entreprendre l'exécution simultanée de plusieurs fractions. Disons de suite que la Ville a largement usé de cette dernière faculté, et aussi que la Compagnie n'a pas attendu, jusqu'ici, qu'une fraction fût entièrement achevée pour mettre en exploitation les lignes dont l'infrastructure se trouvait terminée.

Les travaux à la charge de la Compagnie sont les accès aux stations, la pose des voies et leur équipement électrique, l'établissement de l'éclairage et des appareils de sécurité, la production et la distribution de l'énergie électrique, la fourniture du matériel roulant.

Des accès aux stations, il est peu de choses que tout le monde ne sache. Sur les lignes récemment ouvertes à l'exploitation, on s'est efforcé d'accroître l'ampleur des dégagements et d'éviter les croisements de circulation sur le parcours des galeries souterraines. Cette dernière condition n'avait pas toujours été observée sur la première ligne du réseau, et il en était résulté dans certaines stations, notamment au Palais-Royal, des encombrements et des remous qui, aux heures chargées, rendaient l'accès des quais assez pénible. On y a remédié par l'établissement de nouvelles issues, spécialement affectées à la sortie des voyageurs, l'accès primitif n'étant plus utilisé que pour l'entrée. Quelques stations, dont le trafic est particulièrement intense à certaines heures, ont été munies de sorties supplémentaires de secours, qui restent fermées en service normal, mais peuvent être utilisées au premier besoin. L'Administration poursuit, de concert avec la Compagnie, l'installation d'ascenseurs gratuits dans les stations dont les quais se trouvent situés à 12 mètres au moins en contre-bas de la voie publique ; mais les études préliminaires sont encore peu avancées.

A chaque station, se trouve intercalé, dans les ouvrages d'accès, un guichet pour la distribution des billets. Ceux-ci donnent au voyageur la faculté de se rendre à n'importe quel point du réseau : ils ne portent que le nom de la station d'émission sans aucune indication de destination. Cette circonstance

simplifie beaucoup l'exécution matérielle du billet et permet d'employer à sa fabrication un appareil, à la fois très simple et très ingénieux, qui le produit sur place; on évite ainsi les inconvénients de l'approvisionnement des billets dans les gares et toutes les manutentions auxquelles cet approvisionnement donne lieu. L'appareil imprime et composte le billet au fur et à mesure des demandes; en même temps le billet est numéroté et totalisé sur un compteur spécial. Qu'on imagine quatre petites machines à imprimer rotatives, actionnées par l'électricité et qui peuvent se mouvoir indépendamment les unes des autres au gré de la receveuse. Ces machines sont juxtaposées sur un même bâti et chacune d'elles est surmontée d'un compteur-totalisateur avec cadran apparent; les trois premières fabriquent les billets en usage sur le Métropolitain : 1re classe, 2e classe, Aller et Retour; la quatrième est un secours destiné à suppléer l'une quelconque des trois autres en cas d'avarie. Une bande de carton, enroulée sur une bobine placée au-dessus de chaque machine, reçoit à son extrémité l'impression d'un billet pendant que celui-ci est totalisé sur le compteur; elle est tranchée ensuite, automatiquement, par une cisaille. L'appareil peut produire de quatre-vingt-dix à cent billets à la minute. Son installation est des plus simples : il suffit de l'amener tout monté à l'emplacement choisi et de le relier par un fil souple au circuit principal d'éclairage. Un dispositif d'enrayage bloque tous les mécanismes lorsqu'on ouvre les portes de l'appareil, soit pour introduire la bande de carton, soit pour modifier les composteurs ou changer les encriers : on écarte ainsi toute chance de fraude.

L'emploi de l'appareil simplifie considérablement la comptabilité. Les billets sont numérotés par séries de 1 à 100 000 et les séries se succèdent sans interruption. A chaque arrêt de l'appareil, le numéro du dernier billet émis apparaît sur le cadran du totalisateur. Il suffit à la receveuse de relever ce numéro au début et à la fin de son service; trois ou quatre soustractions lui donnent le nombre des billets qu'elle a vendus, et trois multiplications suivies d'une addition lui font connaître la somme qu'elle doit verser à la Compagnie. Ces sommes sont placées, avec leur décompte, dans des boîtes à

finances et transportées ainsi à la station de l'Étoile, à la recette centrale.

Le Métropolitain est normalement établi à deux voies; ce n'est que dans les garages et les boucles d'évitement aux terminus que l'on rencontre quelques parcours à voie unique. Les deux voies, espacées de 2 m. 90 d'axe en axe, comportent deux rails de roulement à l'écartement normal de 1 m. 44 entre leurs bords intérieurs, et un troisième rail placé dans l'entrevoie à 0 m. 37 de l'axe du chemin de fer. Dans les courbes, des contre-rails sont posés le long du rail de petit rayon, et on donne à la voie, pour faciliter le passage du matériel, un dévers et un surécartement variables avec la courbure.

Les rails de roulement sont du type Vignole, en acier dur; hauteur et largeur de patin, 15 centimètres ; poids, 52 kilogrammes au mètre courant : c'est, croyons-nous, un des plus forts échantillons qui soient en usage. Ils se distribuent par barres de 18 mètres de longueur, reposant chacune sur vingt traverses auxquelles ils sont fixés par des tire-fonds. Les joints sont en porte à faux, c'est-à-dire qu'ils tombent dans l'intervalle compris entre deux traverses consécutives. Les rails, servant de conducteur de retour pour le courant électrique, sont éclissés à la fois mécaniquement par deux éclisses cornières fixées aux deux traverses adjacentes au joint, et électriquement par quatre éclisses en cuivre, dont deux relient l'âme et les deux autres le patin.

Sur les trois premières lignes, le rail prise de courant est du même échantillon que le rail de traction, mais, afin d'accroître sa conductibilité, il a été fabriqué en acier doux; sur la ligne Circulaire n° 2 Sud, la Compagnie a fait choix d'un nouveau type constitué par une barre d'acier doux profilée en forme de T. La plupart des joints de ce rail sont soudés par aluminothermie. De distance en distance, on a toutefois ménagé des joints de dilatation avec doubles éclisses en acier et en cuivre.

Les traverses employées sur les premières lignes étaient en hêtre créosoté; le public s'est plaint de l'odeur. Sans aller jusqu'à prétendre, avec l'une des municipalités suburbaines,

que ces exhalaisons, dangereuses pour la salubrité, pouvaient provoquer des maladies de poitrine, on doit reconnaître qu'elles étaient fort désagréables. La Compagnie, sur les lignes nouvelles, a substitué au hêtre créosoté le chêne plein cœur sans préparation. Les traverses ont une section rectangulaire mesurant 0 m. 20 × 0 m. 14, et leur longueur est normalement de 2 m. 20. De quatre en quatre, des traverses plus longues, atteignant 2 m. 50, sont disposées pour recevoir le rail prise de courant. Des isolateurs supportent ce rail; constitués par des coussinets, en granit ou en porcelaine, ils sont rigides dans les alignements droits et montés sur pivot dans les courbes.

Pour le ballastage, il est fait emploi des cailloux roulés que l'on trouve en grande quantité dans les alluvions de la Seine; toutefois, le caillou n'est utilisé que dans les parties de voie dont la déclivité reste inférieure à 0 m. 040 par mètre et le rayon de courbure supérieur à 75 mètres. Lorsque la voie est inclinée à 0 m. 040 par mètre, ou lorsque le rayon tombe à 75 mètres, la pierre cassée est substituée au caillou. Sur les grands viaducs, et sur quelques ponts de type spécial, on a renoncé au ballast pour ne pas alourdir la construction : les traverses sont alors fixées, par des boulons, sur des coussinets en acier coulé, qui sont rivés aux longerons du tablier.

Aux termes de son cahier des charges, le concessionnaire est tenu d'éclairer les souterrains de façon permanente pendant la durée du service. L'éclairage est assuré par des lampes à incandescence de 10 bougies. Dans le souterrain, ces lampes, placées aux naissances de la voûte, sont disposées en quinconce, à 25 mètres les unes des autres, au-dessus ou en face de chacune des niches de sécurité ménagées dans les piédroits. Aux abords des stations, sur une longueur de 75 mètres, l'intervalle des lampes, toujours disposées en quinconce, est ramené à 12 m. 50. Enfin, au débouché dans les stations, les têtes du souterrain sont dessinées par une herse de cinq lampes de même puissance. Dans les stations voûtées, l'éclairage est constitué par deux files de 18 lampes établies à l'aplomb de chaque quai; dans les stations à tablier métallique, où la diffusion de la lumière se fait moins bien, chaque file comprend 28 lampes.

Les circuits d'éclairage sont indépendants des circuits de traction ; si le courant sur ces derniers, est interrompu, les lampes n'en restent pas moins allumées. L'énergie électrique qui alimente l'éclairage est produite par des batteries d'accumulateurs, installées dans les sous-stations dont il sera question plus loin. Sur les lignes n° 2 Sud et n° 3, des dispositions ont été prises pour éviter l'extinction totale de la lumière en cas d'accident. Les canalisations forment deux circuits distincts, qui alimentent chacun l'éclairage de l'un des côtés du souterrain ainsi que la moitié des lampes placées dans les ouvrages d'accès. Pour parer à tout danger d'accident, un de ces circuits est constitué par des câbles armés, qui sont placés dans un caniveau en bois ignifugé, lequel est noyé dans le ballast à la base du piédroit ; les dérivations qui se détachent de ces câbles pour aboutir aux lampes sont composées de fils isolés, qui sont renfermés dans des gaines métalliques encastrées dans les maçonneries. C'est aussi ce circuit protégé qui dessert les indicateurs de sortie placés dans les stations. Des mesures analogues sont en voie d'application sur les lignes n° 1 et n° 2 Nord.



La régularité du service sur des voies à trafic aussi intense dépend beaucoup des signaux de sécurité, qui doivent se manœuvrer promptement et régulièrement ; il faut en outre que leur espacement corresponde à des parcours de durée sensiblement égale, de façon que les trains restent autant que possible équidistants. Pour satisfaire à ces conditions, la Compagnie a fait choix du block-système automatique Hall, qui avait fait ses preuves en Amérique et auquel elle a apporté quelques perfectionnements de détail. Les signaux Hall s'ouvrent et se ferment automatiquement au passage des trains : ce sont donc les trains eux-mêmes qui se donnent voie libre et qui se couvrent à l'arrière. Ces signaux comportent en principe cinq éléments :

1° Les signaux proprement dits qui provoquent l'arrêt ou laissent passer les trains, selon que le disque est rouge ou blanc ;

2° Les pédales placées le long du rail et actionnées par les bandages des roues, qui établissent ou interrompent les circuits dans les relais;

3° Les relais qui déclenchent les signaux par fermeture ou ouverture de circuits électriques;

4° Les sources d'énergie électrique, qui alimentent les relais;

5° Les circuits électriques qui relient tous les appareils précédents.

Ces divers éléments sont groupés par poste; chaque poste comprend un signal, une pédale, des relais et une source d'énergie électrique. Les postes sont réunis les uns aux autres par les circuits électriques. Le système Hall satisfait en principe aux conditions suivant es

1° Un train est toujours couvert par deux signaux rouges à l'arrière;

2° La voie est normalement fermée, c'est-à-dire qu'un signal est au rouge dans sa position habituelle. Il ne peut se mettre au blanc et indiquer voie libre, que sous deux actions successives : celle du train qui l'a déjà franchi, et qui le débloque à la distance adoptée du deuxième signal qui suit; celle du train qui va le franchir et qui agit sur la pédale placée immédiatement en avant dans le sens de la marche;

3° Un train qui franchit un signal au rouge n'influe pas sur les débloquages à l'arrière, mais il met en action un appareil contrôleur qui, par le fonctionnement d'une sonnerie placée dans la station voisine, indique que le signal a été forcé;

4° L'arrêt de cette sonnerie, fait par le chef de station, après constatation de la faute, n'exerce aucune action sur la manœuvre des signaux.

Deux trains consécutifs sont donc toujours séparés au moins par deux signaux à l'arrêt. Ces signaux se trouvent placés normalement à l'entrée et à la sortie de chaque station. Lorsque la distance qui sépare deux stations est supérieure à l'intervalle moyen, on dispose en outre un signal intermédiaire à peu près au milieu du parcours. Pour protéger les manœuvres dans les stations ainsi qu'aux communications de voies ou aux embranchements, des commutateurs d'aiguilles

mettent automatiquement à l'arrêt les signaux qui couvrent ces aiguilles, en ouvrant ou fermant les circuits voulus.

Le premier signal en tête de ligne, placé à la sortie d'une station terminus, est, par exception, normalement au blanc : il doit en être ainsi puisqu'il n'y a pas en avant de ce signal une section susceptible de provoquer sa mise à voie libre. De même, les deux derniers signaux placés à l'extrémité de la ligne fonctionnent d'une manière spéciale : ils ne peuvent en effet être débloqués automatiquement, puisque les signaux suivants n'existent pas ; c'est un agent de la station terminus qui les remet à voie libre en agissant sur les circuits par le moyen d'un commutateur.

Sur la ligne n° 2 Sud, le système adopté pour les signaux de sécurité diffère légèrement. C'est encore un block-système automatique ; un train est toujours couvert à l'arrière par deux signaux au rouge ; mais ici la voie est normalement libre, c'est-à-dire que chaque signal est au blanc dans sa position habituelle. Le passage d'un train sur la barre de contact de la pédale met le signal au rouge en même temps qu'il remet à voie libre le signal antéprécédent. Ce nouveau système a l'avantage d'une plus grande simplicité. Des perfectionnements ont été apportés dans la construction des pédales ; les sources d'énergie électrique alimentant les circuits, qui étaient constituées par des batteries de piles dans le système Hall, proviennent, dans le système nouveau, de dérivations du courant de traction.

Les diverses stations d'une ligne métropolitaine sont reliées entre elles par le téléphone. Chaque station peut communiquer avec ses deux voisines ; en outre, un certain nombre de stations sont munies de l'appareil Dardeau, qui, tout en procurant une économie de temps considérable, permet de communiquer non seulement avec un poste isolé quelconque sur le parcours de la ligne sans intervention des postes intermédiaires, mais encore avec un groupe de postes quelconques ou avec tous les postes à la fois. Sa manœuvre, qui se réduit à presser deux boutons, est à la portée de l'agent le plus inexpérimenté. Les postes Dardeau sont installés dans les stations principales, dans les stations voisines des sous-stations de transformation électrique, dans ces sous-stations elles-

mêmes, et enfin au Service Central d'Exploitation de la Compagnie.

Depuis la catastrophe survenue en août 1903 à la station des Couronnes, la Compagnie s'est attachée à prévoir tout danger d'incendie, par de nouvelles dispositions pour le matériel roulant et pour l'éclairage du souterrain. Elle a établi des postes d'incendie dans toutes les stations, et disposé de place en place, le long des voies, des avertisseurs d'alarme qui permettent, dans un délai très court, de couper le courant de traction. Quelques mots d'explication sont nécessaires pour ces avertisseurs.

Des commencements d'incendie peuvent être provoqués par les arcs électriques qui prennent naissance lorsqu'une partie des installations électriques de la voie ou du matériel roulant est mise à la masse; il faut alors couper au plus vite le courant de traction. Cette coupure est obtenue au moyen de relais placés dans les centres d'alimentation et qui font sauter, lorsqu'ils sont mis en action, la manette de déclenchement du disjoncteur de la sous-station, en même temps qu'ils mettent en branle une sonnerie d'alarme. Les relais sont commandés à distance par des boutons de sonnerie placés dans des boîtes en fonte plombées, avec couvercle en verre, lesquelles sont fixées à la paroi du souterrain. En voie courante, les boutons sont espacés de 100 mètres en 100 mètres; un bouton est en outre installé dans chaque station. Ces dispositions sont complétées par le sectionnement du rail prise de courant: celui-ci est séparé en tronçons complètement isolés les uns des autres, et dont chacun a son centre d'alimentation spécial. Si un commencement d'incendie vient à se déclarer, le train est arrêté, et l'un des agents va actionner le bouton d'alarme le plus proche : le courant est immédiatement coupé et ne peut être rétabli que sur une indication téléphonique donnée par la station voisine. lorsque tout danger est définitivement écarté. L'installation des avertisseurs d'alarme, qui va être étendue à toutes les lignes du réseau, se poursuit actuellement sur les lignes n° 1 et n° 2 Nord.

Il peut arriver, en dehors du cas d'incendie, qu'un train

tombe en détresse entre deux stations et se trouve dans l'obligation de demander du secours à l'arrière : un délai assez long serait nécessaire si les deux stations étaient séparées par une distance supérieure à l'intervalle moyen; en ce cas, un poste téléphonique installé en pleine voie, entre les deux stations, permet aux agents du train d'entrer en relation avec la station qu'ils viennent de dépasser; ces postes téléphoniques, du système Bailleux, sont placés dans des boîtes en tôle fixées dans la paroi du souterrain, près des signaux intermédiaires.



La traction des trains, l'éclairage des souterrains, le travail des machines-outils dans les ateliers d'entretien et de réparation, donnent lieu à une importante consommation d'énergie électrique.

D'après les évaluations de la Compagnie, la puissance nécessaire à la traction, par kilomètre de ligne, est, dans les conditions maxima, aux environs de 350 kilowatts et il faut ajouter pour l'éclairage et les ateliers environ 30 kilowatts : au total, il faut constituer une puissance de 380 kilowatts environ, chaque fois qu'un kilomètre est ouvert à l'exploitation. Pour l'ensemble du réseau concédé, — dont la longueur atteindra 81 k. 5 avec le prolongement de la ligne n° 3 sur la Porte de Champerret et celui de la ligne n° 7 sur la Porte de la Villette, — la puissance totale peut atteindre 31 000 kilowatts, soit un peu plus de 42 000 chevaux-vapeur.

L'énergie nécessaire à l'exploitation est utilisée sous forme de courant continu à la tension de 550 à 600 volts. Le transport du courant continu à longue distance n'étant pas économique, la Compagnie a adopté pour l'alimentation électrique de son réseau le procédé usuellement adopté aujourd'hui, qui consiste à produire dans des usines centrales du courant triphasé, à conduire celui-ci dans des sous-stations échelonnées sur le parcours des lignes où il est transformé en courant continu à la tension voulue, et enfin à amener ce courant continu à la voie ferrée. Actuellement, la Compagnie ne possède qu'une usine centrale, sur un vaste terrain d'une superficie de huit mille mètres carrés, près

de la gare de Lyon, entre la rue de Bercy et le quai de la Râpée. Cette usine ne suffisant pas aux besoins de l'exploitation, la Compagnie a passé marché avec la Société d'Électricité de Paris pour parfaire la quantité d'énergie nécessaire.

La puissance de l'usine de Bercy, lorsqu'elle sera complète, atteindra 14 400 kilowatts, c'est-à-dire 20 000 chevaux-vapeur environ. Cette puissance sera produite par une dynamo de 1 500 kilowatts, type du Creusot, par trois alternateurs triphasés de 1 500 kilowatts, type du Creusot, et par quatre alternateurs de 2 100 kilowatts, type de la Société Alsacienne à Belfort. La dynamo et six alternateurs sont en service; le septième alternateur est en cours de montage. Le courant triphasé est à 25 périodes sous 5 000 volts ; le courant continu est à 600 volts.

Les machines qui actionnent les groupes électrogènes sont du type vertical Corliss compound à deux cylindres et à condensation. Les machines de 1 500 kilowatts sont à déclic Corliss au petit cylindre seulement avec admission fixe au grand cylindre : elles tournent à 72 tours ; celles de 2 100 kilowatts sont à déclic aux deux cylindres : elles tournent à 79 tours. En pleine charge, l'admission est de 30 p. 100 dans le cylindre à haute pression et de 35 p. 100 dans le cylindre à basse pression. Le poids des volants atteint 65 tonnes dans les premières machines et 75 tonnes dans les secondes.

Les alternateurs de 1 500 kilowatts ont leur bobinage induit fait sur place avec encoches presque fermées; les alternateurs de 2 100 kilowatts sont à bobines rapportées avec encoches ouvertes. Les trois phases sont montées en étoile. Les bobinages inducteurs sont identiques pour les deux types d'alternateurs, mais les pôles sont massifs dans les alternateurs du Creusot, tandis qu'ils sont cannelés dans les alternateurs de la Société Alsacienne.

Au centre de l'usine se trouvent les groupes d'excitation et les groupes survolteurs. Pour l'excitation, les quatre groupes comportent chacun un moteur *shunt* de 65 kilowatts sous 600 volts, qui entraîne directement une génératrice shurt à 150 volts. Pour le survoltage, les deux groupes comprennent l'un et l'autre un moteur shunt de 250 kilowatts sous 600 volts accouplé à une génératrice compound de même

puissance pouvant donner jusqu'à 3 000 ampères sous une tension susceptible d'atteindre 150 volts. Cette dernière génératrice est montée en série sur le circuit d'une batterie d'accumulateurs, laquelle intervient dans la proportion et le sens voulu pour maintenir la charge des groupes électrogènes aussi constante que possible.

Le tableau de l'usine est divisé en deux parties : toute la partie droite est réservée au courant alternatif à haute tension, toute la partie gauche au courant à basse tension. Les circuits sont protégés par des disjoncteurs de 300 ampères sous 5 000 volts à contact dans l'huile, et par des disjoncteurs automatiques de 5 000 ampères sous 600 volts.

L'usine comporte deux chaufferies placées de part et d'autre de la salle des machines. La première chaufferie, qui est affectée aux groupes de 1 500 kilowatts, compte 30 chaudières; la seconde, qui dessert les groupes de 2 100 kilowatts, en compte 24. Celles-ci sont munies de surchauffeurs et de réchauffeurs d'eau d'alimentation ; le chargement se fait à la main. Les chaudières de la première chaufferie sont munies de chargeurs automatiques. L'alimentation en eau est assurée par quatre pompes à vapeur; l'alimentation en charbon s'opère par le moyen d'un transporteur qui relie l'usine à la Seine. Ce transporteur, dont le débit peut atteindre 30 tonnes à l'heure, emmagasine le charbon dans des soutes disposées en arrière des chaudières et dont la capacité totale s'élève à 5 000 tonnes. Les cendres sont enlevées mécaniquement par un second transporteur qui les conduit à la Seine.

La consommation annuelle de l'usine de Bercy atteint aujourd'hui : en charbon, 50 000 tonnes ; en eau, 450 000 tonnes ; lorsque l'usine sera complètement outillée, la consommation de charbon approchera de 75 000 tonnes.

A l'usine de la Société d'Électricité de Paris, établie à Saint-Denis, la Compagnie du Métropolitain dispose de quatre groupes électrogènes d'une puissance totale de 20 000 kilowatts.

Huit sous-stations de transformation, désignées sous les noms de Bercy, Nation, Louvre, Étoile, Barbès, Père-Lachaise, Opera et Denfert-Rochereau, fonctionnent actuellement pour l'alimentation des lignes en exploitation ; une neuvième, qui portera le nom de La Motte-Picquet, assurera, concurremment

avec les sous-stations de l'Étoile, de Denfert-Rochereau et de Bercy, le service de la ligne n° 2 Sud : elle est en construction.

La sous-station de Bercy, installée dans l'usine centrale même, comprend, outre la dynamo de 1 500 kilowatts de cette usine, quatre groupes de transformation Schneider et Cie de 750 kilowatts alimentés par les alternateurs, et une batterie d'accumulateurs de 1 600 ampères-heure au régime d'une heure, utilisée à la fois comme tampon et pour l'éclairage. Elle dessert la partie est des lignes n°s 1 et 2 Sud.

La sous-station de la Nation, établie dans la galerie de remisage du cours de Vincennes, près de la place de la Nation, ne contient qu'un groupe de transformation Schneider et Cie, de 750 kilowatts, alimenté par l'usine de Bercy ; elle assure le service de la partie est de la ligne n° 1, concurremment avec cette dernière usine, et celui de la galerie de remisage.

La sous-station du Louvre, placée sous la voie publique, devant Saint-Germain-l'Auxerrois, possède deux groupes de transformation Thomson-Houston de 750 kilowatts alimentés par l'usine de Bercy ; elle dessert la partie centrale de la ligne n° 1.

La sous-station de l'Étoile, établie en sous-sol, au contact de la station Place de l'Étoile de la ligne n° 1, renferme trois groupes de transformation Schneider et Cie et un groupe Thomson-Houston de 750 kilowatts, ainsi qu'une batterie-tampon de 1 800 ampères-heure au régime d'une heure. Alimentée par l'usine de Saint-Denis, elle assure le service de la partie ouest des lignes n°s 1, 2 Nord et 2 Sud.

La sous-station Barbès, installée dans un immeuble situé rue de la Charbonnière, n° 38, dessert la partie centrale de la ligne n° 2 Nord ; elle sera en outre utilisée plus tard pour le service de la partie nord de la ligne n° 4. Elle comprend actuellement trois groupes de transformation Thomson-Houston de 750 kilowatts alimentés par l'usine de Saint-Denis.

La sous-station Père-Lachaise assure à la fois le service des lignes n° 2 Nord et n° 3 dans leur partie est. Établie dans un immeuble situé boulevard de Ménilmontant, n° 79, elle renferme cinq groupes de transformation Thomson-Houston de 750 kilowatts, alimentés par l'usine de Bercy, et une batterie-tampon de 1 800 ampères-heure au régime d'une heure.

Le sous-station Opéra, installée dans un immeuble situé rue Caumartin, n° 41, dessert pour le moment la partie ouest de la ligne n° 3; elle sera utilisée plus tard pour le service partiel des lignes nos 7 et 8. Elle contient quatre groupes de transformation Schneider et Cie de 750 kilowatts pouvant être alimentés soit par l'usine de Bercy, soit par l'usine de Saint-Denis. Elle renferme, en outre, une batterie-tampon de 1 800 ampères-heure, au régime d'une heure,

La sous-station Denfert-Rochereau est établie dans l'immeuble situé rue Victor-Considérant, n° 10. Elle dessert la partie centrale de la ligne n° 2 Sud et sera utilisée plus tard pour les besoins de la partie sud de la ligne n° 4. Elle renferme trois groupes de transformation Schneider et Cie de 750 kilowatts alimentés par l'usine de Bercy, et une batterie-tampon de 500 ampères-heure au régime d'une heure.

Enfin la sous-station La Motte-Picquet, en cours d'installation dans l'immeuble situé boulevard de Grenelle, n° 135, recevra tout d'abord deux groupes de transformation Schneider et Cie de 750 kilowatts alimentés par l'usine de Saint-Denis. Elle renforcera l'alimentation de la ligne n° 2 Sud, et sera utilisée plus tard pour la ligne n° 8.

Chacun des groupes de transformation des sous-stations se compose de trois transformateurs monophasés de 250 kilowatts montés en triangle et d'une commutatrice à 6 bagues alternatives. Les commutatrices du type Schneider et Cie sont à 12 pôles et à connexions diamétrales; celles qui sont construites par la Compagnie Thomson-Houston sont à 10 pôles et à connexions en double triangle.

Lorsque la sous-station comporte une batterie-tampon, l'installation se complète par un survolteur formé d'un moteur shunt de 250 kilowatts sous 600 volts, monté sur le même arbre qu'une génératrice compound intercalée dans le circuit des accumulateurs.

Le courant triphasé est amené des usines centrales aux sous-stations, au moyen de câbles armés à trois conducteurs, qui sont posés soit dans le sous-sol des voies publiques, soit dans le souterrain. Des feeders, constitués par des faisceaux de câbles en cuivre et placés dans des galeries spéciales, conduisent le courant continu des sous-stations à la voie ferrée;

les câbles positifs sont isolés sous caoutchouc et sous tresse à l'intérieur de la sous-station, nus en galerie, isolés au caoutchouc et armés dans le souterrain; les câbles négatifs sont nus et protégés par un coffret en bois de sapin.



Les trains du Métropolitain sont formés de voitures motrices et de voitures d'attelage. Sur la ligne n° 1, les trains comprennent trois motrices : deux en tête, l'autre en queue, et quatre voitures d'attelage; sur la ligne n° 2 Nord, deux motrices en tête du train sont suivies de trois ou quatre voitures d'attelage, alternativement; sur la ligne n° 2 Sud, une motrice conduit deux, quelquefois trois voitures d'attelage; enfin, sur la ligne n° 3, le nombre et la répartition des motrices sont les mêmes que sur la ligne n° 1, mais elles ne traînent que deux voitures d'attelage.

Les voitures motrices, qui circulent actuellement sur les lignes n° 1 et n° 2, sont formées d'une caisse de deuxième classe précédée d'une loge qui contient les appareils de commande et qui est occupée par le wattman; le tout est porté par des trucks bogies à pivot. La longueur totale de la voiture entre tampons est de 11 m. 51 ; la caisse est longue de 10 m. 85, large et haute de 2 m. 40, le point culminant est à 3 m. 40 au-dessus du rail. Deux portes de 1 m. 20 de largeur sont ménagées dans chacune des faces latérales, vers l'extrémité de la caisse; au droit de ces portes, se trouvent des plates-formes pour les voyageurs debout; le reste de la voiture est occupé par des rangées de sièges adossés deux à deux à l'exception des rangées extrêmes ; un couloir longitudinal laisse un siège d'un côté et deux de l'autre. L'éclairage est assuré par dix lampes de dix bougies, réparties en deux groupes indépendants, de façon à éviter l'extinction complète de la lumière en cas d'avarie.

La cabine du wattman est complètement isolée des voyageurs, et ses parois sont incombustibles. L'écartement des pivots des bogies atteint 6 m. 60; l'empattement des bogies arrière est de 1 m. 80, celui des bogies avant mesure 2 m. 25. Les moteurs, au nombre de deux, sont portés par les bogies

avant. Ces moteurs sortent des ateliers de la Société Westinghouse ou de la Société Thomson-Houston ; leur puissance est de 125 chevaux-vapeur. La prise du courant se fait par des frotteurs en acier suspendus par de petites bielles à des poutrelles en bois qui prennent appui sur les boîtes à huile de chaque bogie ; les frotteurs sont au nombre de quatre, mais deux seulement, d'un même côté de la voiture, sont normalement en contact avec le rail conducteur.

Les motrices sont équipées électriquement de façon à permettre la conduite du train par une seule d'entre elles : chacune des voitures s'alimente elle-même par ses propres frotteurs, et les manœuvres pour coordonner ces alimentations autonomes sont opérées par des servo-moteurs commandés électriquement à distance par la voiture de tête. De cette manière, le circuit qui réunit les voitures motrices à travers le train n'est parcouru que par un courant de faible intensité, ce qui écarte tout danger.

Les voitures d'attelage sur les lignes n° 1 et n° 2 ont 8 m. 97 de longueur entre tampons ; elles sont à essieux parallèles, et l'écartement de ces essieux varie de 3 m. 60 à 3 m. 75. Les dimensions des caisses en largeur et en hauteur, l'aménagement des portes, des plates-formes et des sièges, les installations d'éclairage sont les mêmes que dans les voitures motrices. Toutes les voitures sont munies du frein à air Westinghouse ; chacune d'elles possède en outre un frein à main et un frein de secours ; enfin, en cas d'urgence, il est possible, en inversant la marche des moteurs, de freiner électriquement le convoi. Le nombre maximum des voyageurs à admettre dans ces voitures, tant motrices que d'attelage, est fixé à cinquante-cinq, dont vingt-cinq assis et trente debout.

Sur la ligne n° 3, les voitures présentent les mêmes dispositions d'ensemble ; mais toutes, aussi bien les motrices que les voitures d'attelage, sont montées sur des trucks bogies à pivot. Pour les motrices, la longueur totale de la voiture entre tampons est de 13 m. 92 ; la caisse est longue de 13 m. 20, large de 2 m. 40, haute de 2 m. 28 ; le point culminant est à 3 m. 30 au-dessus du rail. Trois portes de 1 m. 20 de largeur sont ménagées dans chacune des faces latérales, l'une au centre, les autres vers les extrémités de la caisse. L'éclai-

rage est assuré par quinze lampes de dix bougies montées cinq par cinq en série. L'écartement des pivots des bogies atteint 9 m. 10; l'empattement des bogies arrière est de 1 m. 80, celui des bogies avant mesure 2 m. 25. Les moteurs, au nombre de deux, sont portés par les bogies avant; ils ont une puissance de 175 chevaux-vapeur. Les trois motrices d'un train sont équipées de la même manière que sur les lignes n° 1 et n° 2. Le nombre maximum des voyageurs à admettre dans ces voitures est de soixante-seize, dont vingt-six assis et cinquante debout.

Les voitures d'attelage de la ligne n° 3 ont 13 m. 07 de longueur entre tampons; la caisse est longue de 12 m. 47, large de 2 m. 42 et haute de 2 m. 34; le point culminant est à 3 m. 40 au-dessus du rail. L'écartement des pivots des bogies est de 8 m. 45; l'empattement des bogies avant et arrière est le même que sur les motrices. Ces voitures offrent quatre-vingt-deux places, dont trente-sept assis et quarante-cinq debout.

La longueur des voitures qui circulent sur la ligne n° 3 ne permettrait pas de les utiliser sur les autres lignes en exploitation en raison de la courbure plus accentuée que présente la voie en certains points. Cependant ces voitures ont été très favorablement accueillies par les voyageurs qui en apprécient le confort; elles constituent à tous égards un progrès sensible. Aussi la Compagnie a-t-elle pris le parti de généraliser l'emploi des bogies, et elle a mis en construction de nouvelles voitures, qui seront affectées tout d'abord à la ligne n° 1. Ces voitures auront 11 m. 80 de longueur entre tampons et 11 m. 14 de longueur de caisse; elles seront portées par deux bogies à pivot de 1^{m},50 d'empattement. Les caisses seront munies de trois portes sur chaque face; elles seront éclairées par quinze lampes de dix bougies.

L'effectif total du matériel roulant au 1er janvier 1906 était de 642 voitures, dont 293 motrices et 349 voitures d'attelage.

Pour la visite et l'entretien du matériel, la Compagnie a dû installer des ateliers importants : deux sont aujourd'hui en plein fonctionnement, l'un entre la rue des Maraîchers et le chemin de fer de Ceinture, dans le quartier de Charonne, l'autre au carrefour des rues Belgrand et Pelleport, dans le quartier Saint-Fargeau; un troisième est en cours de cons-

truction rue Abel-Hovelacque, dans le quartier de Croulebarbe.

L'atelier de Charonne occupe une superficie totale d'environ 20 000 mètres carrés ; la surface couverte atteint 9 087 mètres carrés. Il est relié par un embranchement au chemin de fer de Ceinture et, par un autre embranchement, à la ligne n° 1, à la galerie de remisage établie sous le cours de Vincennes et à la ligne n° 2 Nord. Ses machines-outils sont actionnées électriquement par du courant continu à 600 volts. L'atelier de Saint-Fargeau est relié directement par un embranchement à la ligne n° 3 ; d'une superficie totale de 14 000 mètres carrés environ, il offre une surface couverte de 9 912 mètres carrés. Ses machines-outils sont alimentées par le courant triphasé. Quant à l'atelier de Croulebarbe, d'une superficie totale d'environ 13 000 mètres carrés, il ne servira provisoirement qu'à la visite et au petit entretien du matériel roulant de la ligne n° 2 Sud. Les hangars destinés à abriter ce matériel couvriront une surface de 4 000 mètres carrés en nombre rond ; ils seront complétés ultérieurement par l'installation d'ateliers de lavage et de peinture des voitures et par la construction de locaux pour les divers services d'entretien.

Pour le fonctionnement de ses services, la Compagnie emploie un personnel déjà nombreux et dont l'importance ne fera que croître au fur et à mesure que de nouvelles lignes viendront s'ajouter à celles qui sont actuellement ouvertes au public. Au 1er janvier 1906, l'effectif de ce personnel s'élevait à 2 674 employés ou ouvriers répartis comme suit dans les divers services :

Direction : 24 ; Mouvement : 1515 ; Traction : 221 ; Matériel : 541. Voie : 141 ; Service électrique : 53 ; Usines : 179 ; Total : 2 674.



Les résultats de l'exploitation ont bien vite dépassé toutes les espérances. Le cahier des charges impose à la Compagnie un nombre minimum de 135 voyages par jour dans chaque sens, avec des trains comportant au moins 100 places. Dès le début, il a été reconnu que ces conditions minima étaient insuffisantes. Actuellement, la ligne n° 1 est desservie par

25 trains offrant chacun 385 places et effectuant 309 courses dans chaque sens, les jours ouvrables, et 320 courses, les jours fériés. Pour la ligne n° 2 Nord, le service est assuré par 29 trains comportant alternativement 275 et 330 places et effectuant 260 courses dans chaque sens en semaine, et 276 courses les dimanches et jours de fêtes. Sur la ligne n° 3, le nombre des trains est de 22 avec 392 places et le nombre de courses de 280 les jours ouvrables et de 273 les jours fériés.

Le service est réglé d'après un horaire approuvé par le Préfet de Police. Le premier départ a lieu à 5 heures et demie du matin, le dernier à minuit et demi. Dans l'intervalle, les trains se succèdent de 3 en 3 minutes aux heures les plus chargées, de 4 en 4 minutes aux heures ordinaires, et de 6 en 6 minutes aux heures creuses, c'est-à-dire entre 9 heures du soir et la fin du service. Les jours de grande affluence, des trains supplémentaires sont mis à la disposition du public.

Les trois premières lignes métropolitaines ont été exploitées, au fur et à mesure de l'achèvement des travaux, aux dates suivantes :

Ligne n° 1. De la Porte de Vincennes à la Porte Maillot, 19 juillet 1900.

Ligne n° 2 Nord. De la Porte Dauphine à la Place de l'Étoile, 13 décembre 1900.

De la Place de l'Étoile à la Place d'Anvers, 7 octobre 1902.

De la Place d'Anvers à la Rue de Bagnolet, 30 janvier 1903.

De la Rue de Bagnolet à la Place de la Nation, 2 avril 1903.

Ligne n° 2 Sud. De la Place de l'Étoile à la Place du Trocadéro, 2 octobre 1900.

De la Place du Trocadéro au Quai de Passy, 5 novembre 1903[1].

Ligne n° 3. — Du boulevard de Courcelles (avenue de Villiers) au Père-Lachaise, 19 octobre 1904.

Du Père-Lachaise à Ménilmontant (Place Gambetta), 25 janvier 1905.

Le mouvement des voyageurs a été sans cesse en croissant ; toutefois, sur la ligne n° 1, le trafic paraît avoir atteint son

1. Depuis que ces lignes ont été écrites, la ligne n° 2 Sud a été entièrement livrée au public; l'ouverture à l'exploitation a eu lieu le 24 avril 1906 pour la section comprise entre le Quai de Passy et la Place d'Italie, et le 2 juin 1906, pour la partie qui s'étend de la Place d'Italie à le Gare d'Austerlitz.

maximum. Les tableaux ci-après donnent par année et par ligne le nombre des voyageurs transportés et la recette brute; les porteurs de billets d'aller et retour sont comptés pour deux unités.

NOMBRE DE VOYAGEURS TRANSPORTÉS

Années	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 2 Sud	Ligne n° 3	Totaux
1900. . .	17 861 444	59 102	739 740	»	17 660 286
1901. . .	52 096 285	1 419 930	2 365 812	»	55 882 027
1902. . .	63 021 068	6 226 513	2 935 447	»	72 183 028
1903. . .	67 993 147	46 423 979	3 784 646	»	118 201 772
1904. . .	69 649 045	58 438 343	5 707 468	6 452 372	140 247 228
1905. . .	70 616 658	64 580 637	6 400 445	37 187 027	178 784 767
TOTAUX.	340 237 647	177 148 504	21 933 558	43 639 399	582 959 108

OBSERVATIONS. — Ouverture totale à l'exploitation : Ligne n° 1 : 19 juillet 1900. — Ligne n° 2 Nord : 2 avril 1903. — Ligne n° 2 Sud : 5 novembre 1903. — Ligne n° 3 : 25 janvier 1905.

RECETTE BRUTE DE L'EXPLOITATION

Années	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 2 Sud	Ligne n° 3	Totaux
1900.	2 569 289 15	9 676 60	115 597 70	»	2 694 563 45
1901.	7 764 433 85	229 269 65	354 582 15	»	8 348 285 65
1902.	9 376 200 10	947 581 65	437 895 90	»	10 761 677 65
1903.	10 115 876 65	6 624 195 60	550 767 »	»	17 290 839 25
1904.	10 362 611 75	8 196 622 50	803 833 35	985 887 35	20 348 954 95
1905.	10 443 261 10	8 929 950 30	891 758 30	5 440 978 85	25 705 948 55
TOTAUX. . .	50 631 672 60	24 937 296 30	3 154 434 40	6 426 866 20	85 150 269 50

NOMBRE DE VOYAGEURS TRANSPORTÉS PAR KILOMÈTRE DE LIGNE

Années	Ligne n° 1 (longueur 10 k. 5)	Ligne n° 2 Nord (longueur 12 k. 4)	Ligne n° 3 (longueur 7 k. 9)
1900.	1 605 851	»	»
1901.	4 961 550	»	»
1902.	6 002 006	»	»
1903.	6 475 537	3 743 869	»
1904.	6 633 242	4 712 769	»
1905.	6 725 396	5 208 115	4 707 218

Ce dernier tableau montre dans le trafic des trois lignes des

différences assez notables, qui pourront s'atténuer à l'achèvement complet du réseau, par le jeu des correspondances. Elles s'expliquent toutefois par la diversité des intérêts desservis. La ligne n° 1 est en relation directe, à son origine, avec un réseau important de tramways venant de la banlieue, et cette origine est voisine du Bois de Vincennes ; la ligne ensuite prend contact avec la gare de Lyon et la gare de Vincennes ; elle traverse le centre de Paris, puis un quartier riche, et son terminus est riverain du Bois de Boulogne : cet ensemble de circonstances lui procure un trafic élevé. La ligne n° 2 Nord dessert, dans sa partie Est, des quartiers populeux qui lui apportent des voyageurs nombreux le matin et le soir, assez clairsemés dans le courant de la journée ; à l'ouest, comme la ligne précédente, elle traverse des quartiers riches, et son terminus est également riverain du Bois de Boulogne : c'est encore là un heureux concours de circonstances, mais on comprend que le trafic reste légèrement inférieur à celui de la ligne n° 1. Quant à la ligne n° 3, elle se développe surtout à travers le quartier des affaires : le mouvement des voyageurs, important dans le courant de la journée, est faible le matin et le soir, et notablement ralenti les dimanches et jours fériés.

Quoi qu'il en soit, le trafic des lignes métropolitaines dépasse de beaucoup celui de toutes les lignes de chemin de fer, tant en France qu'à l'étranger. Comme point de comparaison, on peut prendre le mouvement des voyageurs sur la ligne de Paris à Auteuil qui est particulièrement chargée. En 1903, sur un total de 23 758 451 voyageurs, 12 019 069 étaient en transit : il restait donc pour la ligne d'Auteuil elle-même, 12 739 382 voyageurs, ce qui, pour une longueur de 9 kilomètres environ, correspond à un peu plus de 1 300 000 voyageurs par kilomètre et par an ; la même année, le nombre des voyageurs transportés sur la ligne métropolitaine n° 1 s'est élevé à près de 6 500 000 voyageurs, et sur la ligne n° 2 Nord à plus de 3 700 000 voyageurs.

L'affluence des voyageurs n'est pas constante : elle varie suivant les mois de l'année, et, dans un même mois, suivant les jours de la semaine. L'oscillation annuelle se traduit par une loi que l'on retrouve à Paris dans toutes les entreprises de transport en commun : le trafic augmente de février à mai,

décroît ensuite de mai à août, où il passe par un minimum, puis se relève d'août à décembre, avec saut brusque pendant ce dernier mois qui est celui du maximum, suivi d'une dépression en janvier et février. L'oscillation hebdomadaire est moins régulière et varie suivant les lignes. Sur les lignes n° 1 et n° 2 Nord, on relève, en général, des maxima très caractérisés le dimanche, des maxima moins accentués le jeudi, des minima les mercredi et vendredi. Sur la ligne n° 3, qui dessert une clientèle d'affaires, les dimanches correspondent en général à des minima très marqués, les mercredis et vendredis à des minima moindres, les lundis et samedis à des maxima. Les conditions de la vie à Paris expliquent aisément ces fluctuations qui sont mises en relief par le tableau ci-après.

MOUVEMENT DES VOYAGEURS ET RECETTES BRUTES PENDANT LES DOUZE MOIS DE 1905

	Voyageurs transportés			Recettes brutes (en francs et centimes)		
1905	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 3	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 3
Janvier. .	6 293 628	6 152 294	3 141 205	951 773 60	874 443 20	478 368 55
Février. . .	5 654 139	5 338 852	3 108 455	845 304 15	747 732 10	460 649 50
Mars. . . .	6 338 899	5 969 467	3 535 298	944 913 40	832 197 95	521 701 35
Avril. . . .	6 253 525	5 792 291	3 225 986	935 383 70	814 627 35	473 540 25
Mai	6 288 465	5 684 431	3 256 267	936 373 »	789 239 15	474 548 75
Juin. . . .	5 907 061	4 984 987	2 843 202	878 153 65	689 186 05	411 382 75
Juillet. . .	5 039 646	4 449 043	2 431 864	732 480 20	603 802 25	346 999 35
Août. . . .	4 472 152	4 001 893	2 137 056	634 077 85	531 088 50	300 641 25
Septembre.	4 984 158	4 488 441	2 594 352	712 858 90	600 500 25	371 722 80
Octobre . .	6 278 769	5 658 853	3 405 958	923 225 50	774 587 75	496 053 20
Novembre .	6 221 103	5 860 271	3 657 804	915 577 25	807 026 25	536 897 65
Décembre .	6 885 113	6 199 814	3 849 580	1 033 139 90	865 519 50	568 473 45
TOTAUX.	70 616 658	64 580 637	37 187 027	10 443 261 10	8 929 950 30	5 440 978 85

Il va sans dire que le nombre des billets délivrés par chaque station varie dans des proportions considérables. Les trafics maximum et minimum sont fournis : sur la ligne n° 1 par les stations Porte Maillot et Avenue de l'Alma ; sur la ligne n° 2 Nord par les stations Place Clichy et Avenue Philippe-Auguste ; sur la ligne n° 2 Sud par les stations Quai de Passy et Avenue Kléber ; enfin, sur la ligne n° 3 par les stations Gare Saint-Lazare et Place Martin-Nadaud. Pour

l'ensemble, c'est actuellement la station Porte Maillot qui comporte le plus fort mouvement et la station Avenue Kléber le plus faible.

La proportion des billets des diverses classes varie suivant les lignes, mais, d'une façon générale, la seconde classe l'emporte de beaucoup sur la première et les billets d'aller et retour l'emportent encore sur ceux de première classe. La ligne n° 1 donne la plus forte proportion de billets de première classe, la ligne n° 2 Nord la proportion maximum d'aller et retour.

PROPORTION DES BILLETS DES DIVERSES CATÉGORIES DÉLIVRÉS EN 1905

Désignation des billets.	Proportion p. 100 des billets délivrés.				Proportion p. 100 des recettes.			
	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 3	Moyenne.	Ligne n° 1	Ligne n° 2 Nord	Ligne n° 3	Moyenne.
Billets de 1re classe. .	13,945	9,079	12,246	11,757	20,078	13,168	17,842	17,029
Billets de 2e classe. .	68,571	66,213	70,471	68,419	59,212	57,613	61,609	59,478
Billets d'aller et retour	17,457	24,673	17,266	19,798	20,099	28,623	20,128	22,950
Billets collectifs . . .	0,017	0,018	0,004	0,013	0,004	0,006	0,001	0,004
Perceptions supplém. (en cours de route)	0,010	0,017	0,013	0,013	0,607	0,590	0,420	0,539
TOTAUX. . . .	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Il ressort du tableau ci-dessus que le produit moyen d'un billet, pour l'ensemble des trois lignes métropolitaines, s'est élevé en 1905 à 0 fr. 1716 environ.

On sait que la Ville fait face aux dépenses d'infrastructure par des prélèvements sur les recettes brutes, lesquels servent à gager les deux emprunts de 335 millions de francs contractés en 1899 et en 1904 ; en cas d'insuffisance de ces prélèvements, les charges de l'emprunt retomberaient sur le budget ordinaire de la Ville. Jusqu'ici, cette éventualité ne s'est point réalisée; la Ville a trouvé, au contraire, dans les prélèvements, un supplément de recettes qui se chiffrait, à la fin de 1905, par 2 883 504 fr. 38 c. Aux termes des lois des 4 avril 1898 et 26 juin 1903 qui ont autorisé les deux emprunts, la Ville ne peut disposer de cet excédent que pour l'amortissement de l'emprunt, par anticipation, lorsque les circonstances le permettront. Le tableau ci-après donne, année par année, les charges des deux emprunts avec, en regard, le montant

des prélèvements opérés sur les recettes brutes de la Compagnie.

CHARGES DES EMPRUNTS ET PRÉLÈVEMENTS
SUR LES RECETTES BRUTES

Années.	Charges des emprunts.	Prélèvements opérés sur les recettes brutes.
1900	1 711 429 »	906 293 90
1901	2 261 000 »	2 778 133 50
1902	2 673 413 30	3 577 836 10
1903	4 720 380 »	5 693 654 25
1904	6 347 728 22	6 672 541 50
1905	7 427 790 »	8 396 785 65
TOTAUX. . .	25 146 740 52	28 025 244 90
Excédent des prélèvements sur les charges au 31 décembre 1905.	2 883 504 38	

*
* *

La faveur du public témoigne trop clairement des immenses services que le Métropolitain rend à la population parisienne, pour qu'il soit besoin d'insister. Lorsque les lignes concédées seront achevées, lorsqu'elles auront été complétées par quelques-unes des lignes complémentaires dont l'exécution est actuellement envisagée, Paris sera doté d'un réseau unique au monde, et de tous les travaux édilitaires, entrepris dans ces dernières années, il n'en est guère dont les avantages, tant au point de vue social qu'au point de vue économique, puissent être comparables.

Actuellement, peu de grands centres, aussi bien en deçà qu'au delà de l'Atlantique, se trouvent aussi bien dotés pour les transports en commun rapides et économiques, spécialement affectés au service urbain. Quand on aura cité les exemples de Londres, où l'emploi généralisé des *tubes* constitue d'ailleurs, à notre avis, une erreur de conception, — de Berlin, où l'exécution récente de la *Hochbahn* est un premier pas vers la solution du problème, — de New-York, où la construction du *Subway* répond d'une façon plus complète à cette so-

lution, — enfin de Chicago et de Philadelphie, on aura passé en revue tout ce qui, dans les grandes agglomérations mondiales, a été tenté pour fournir à la circulation urbaine une véritable organisation des transports rapides en commun. Jusqu'ici on paraissait s'occuper de préférence des lignes de surface, bien que celles-ci ne dussent être logiquement utilisées qu'à titre auxiliaire. Les Métropolitains de Londres, de Berlin et de Vienne, dont il est souvent question, ne sont que des annexes des grands réseaux, et leur affectation partielle au trafic local répond mal à la conception que l'on doit se faire du chemin de fer urbain ; la voie souterraine de Budapest n'est qu'un tramway de faible longueur, que des considérations d'esthétique, du reste justifiées, ont fait reléguer sous l'avenue Andrássy.

Aujourd'hui, partout où le problème des chemins de fer urbains se pose, les esprits s'orientent vers la solution qu'il a reçue à Paris. Le principe une fois admis, le reste est affaire de persévérance et d'énergie, pour vaincre les difficultés, parmi lesquelles celles d'ordre technique ne sont pas toujours les plus dangereuses. La construction du Métropolitain de Paris en restera un des exemples les plus convaincants et les plus typiques.

LOUIS BIETTE

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
Adjoint à l'Ingénieur en chef chef du service technique
du Métropolitain.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 12749-6-06.

